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. 9 № 1

Севастополь
2023

Э 651 ISSN 2413-5526
УДК 621.311

Э 651 **Энергетические установки и технологии: науч. журнал. – Севастополь: ФГАОУ ВО СевГУ, 2023. – Т. 9. - № 1. – 240 с.: ил.**

В научный журнал «Энергетические установки и технологии», включены статьи, посвященные актуальным вопросам современной энергетики. Журнал состоит из разделов: тепловые и ядерные энергетические установки, электротехнические комплексы и системы, экологическая безопасность, химические технологии атомных станций, информационные технологии в энергетике, моделирование физических процессов, физика в ядерной энергетике, автоматизация процессов контроля и управления, судовые энергетические установки, холодильные установки, гидравлические энергоустановки, компьютерная инженерия и техническая диагностика.

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.

Р е д а к ц и о н н а я к о л л е г и я:

Якимович Б.А. (главный редактор), д.т.н., профессор;
Губарев Ф.А. (заместитель главного редактора), д.т.н., профессор;
Черкашина Н.И. (ответственный секретарь), к.т.н., доцент;
Кочнов О.Ю., д.т.н., профессор; *Федоровский К.Ю.,* д.т.н., профессор;
Копп В.Я., д.т.н., профессор; *Яковишин Л.А.*, д.х.н., профессор;
Олейников А.М., д.т.н., профессор; *Завьялов В.М.,* д.т.н., профессор;
Высоцкий В.Е., д.т.н., профессор; *Омельчук Ю.А.,* к.х.н., доцент;
Матузаев К.Б., к.т.н., доцент; *Скидан А.А.,* к.т.н., доцент;
Губин В.Е., к.т.н., доцент; *Ожиганова М.И.,* к.т.н., доцент;
Магдыч Е.А., к.т.н., доцент; *Кучерик Г.В.,* к.т.н., доцент;
Браславский Ю.В.., к.т.н., доцент; *Кузнецов П.Н.,* к.т.н., доцент;
Козырь Д.А., к.т.н., доцент;

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», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Тепловые и ядерные энергетические установки **7**

Рипп А.Г, Мирошниченко Е.В Методика измерения максимальной энергии бета спектра 7

Фролова А.Н., Аникевич К.П. Проблемы хранения отработавшего ядерного топлива 11

Фролова А.Н. Система сбора и обработки информации как основа построения интегрированных систем безопасности 14

Чупрынин С.А. Модернизация пароводяной эжекторной холодильной машины с целью очистки добавочной воды 22

Шаповаленко В.В. Выбор режимных параметров для реакторов ВВЭР 27

Шаповаленко В.В. Сравнение двух проектов водо-водяных реакторов под давлением китайский реактор «Hualong One-1000» и российский реактор ВВЭР-1200 32

Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии **39**

Абейдулин С.А., Фролова А.Н. Исследование режимов работы фотоэлектрической электростанции при параллельной работе с энергетической системой 39

Абейдулин С.А., Давиденко Е.Н. Энергосберегающие технологии обработки материалов для производства компонентов энергокомплексов на основе ветровых и солнечных электростанций 45

Борисов Б.Е., Кувшинов В.В., Абейдулин С.А. Использование систем релейной защиты и автоматики при работе энергетических комплексов с установками на основе возобновляемых видов энергии 50

Кувшинов В.В., Давиденко Е.Н., Бордан Д.Ф., Березняк В.А., Артеменко И.Д. Использование основных элементов солнечных электрических станций для повышения эффективности генерации 56

Меджитов М.Р., Фролова А.Н., Кувшинов В.В., Касницкий А.Д., Жильцов А.С. Методы устранения негативного влияния на энергетические сети работы фотоэлектрических станций 63

Чепенюк А.А., Скидан А.А. Исследование методов внедрения возобновляемых источников энергии для снижения потребления собственных нужд магистральных распределительных подстанций 68

Чепенюк А.А., Скидан А.А. Способ решения задачи освещения пешеходной зоны с помощью фотоэлектрической системы 74

Шестернева А.М. SCADA ЭНТЕК как интеллектуальная основа будущей распределительной энергосети России 81

Шестернева А.М. Анализ применения «Точки трансформации» как перспективы раз-вития электроэнергетики России 87

Якимович Б.А., Малюк Е.Г., Какушина Е.Г. Перспективы развития распределенной энергетики в условиях полуострова Крым 91

Электротехнические комплексы и системы **99**

В.Е. Высоцкий Автоколебательные процессы при широтно-импульсном регулировании напряжения на якоре вентильного двигателя постоянного тока 99

Гайдук С.В., Мирошниченко Е.В., Петула А.С. Мировые тенденции развития электротранспорта 108

Дегтерев А.Х. Оценка изменения энергозатрат на отопление в Крыму за последние десятилетия 115

Дубков Е.А., Колодяжный В.В. Возможность применения технологии беспроводной зарядки для аккумуляторных локомотивов в опасных средах 119

Завьялов В.М., Смокталь Н.Н., Велиляев А.С. Система гальванически связанных тел как способ измерения высокого напряжения 123

Канов Л.Н., Конева С.А., Пронина А.К., Ходак Е.Н. Анализ эксплуатационных режимов систем электроснабжения с распределенной генерацией и потреблением 128

Майорова Ю.А., Третьяченко В.Н. Проблемы устойчивости энергосистем с доминированием силовых электронных преобразователей 138

Майорова Ю.А. Проблемы нестабильности частоты и возможные способы их решения 145

Нурзай В.А., Быковский Ю.М. Методы и средства контроля частоты и размаха вибрации 153

Информационные технологии в энергетике **160**

Контылева Е.А., Авдеев И.В. Разработка метода классификации огибающей доплеровского сигнала 160

Контылева Е.А., Сагалаев А.В. Информационная безопасность детей и подростков в сети интернет 165

Корнеева Н.К. Применение дистанционного обучения в системе Moodle для студентов направления подготовки 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг», при изучении теоре-тической механики 173

Пелись В.В., Контылева Е.А., Егорова А.О. Метод оценки экономической составляющей при организации информационной безопасности 177

Скрябина Е.В., Михайлова О.С. Модель реализация вероятностно-цифрового измерительного контроллера для систем управления 182

Химические технологии **185**

Ворник О.В., Ведищева О.В. Эффективность очистки производственных сточных вод в погружных вращающихся биофильтрах 185

Котельникова С.А., Акимов А.М. Карбонатное выщелачивание урана 191

Пак А.Я., Ларионов К.Б., Арышева Г.В., Янковский С.А., Поваляев П.В. Синтез углеродных нанолуковиц воздействием дугового разряда на резинотехнические отходы в открытой воздушной среде 195

Экологическая безопасность **201**

Заблоцкая Е.В. Внедрение системы раздельного сбора твёрдых коммунальных отходов в Ленинградской области 201

Заблоцкая Е.В., Гавриш О.П. Обращение с твёрдыми коммунальными отходами в Ленинградской области 208

Косовская М.А., Тарасенко С.В. Разработка системы экологического менеджмента проекта сек-ции Восточного пирса Новороссийского морского порта 215

Косовская М.А.,.Ленивенко Н.Н Анализ ответных реакций дендроформ зон общего пользования Севастополя на действие антропогенных факторов 224

Косовская М.А.,.Ленивенко Н.Н Анализ ответных реакций древесных насаждений скверов г.Севастополя на действие биологических факторов 231

Для авторов **239**

CONTENTS

Thermal and nuclear power plant **7**

Ripp A.G, Miroshnichenko E.V Method of measuring the maximum energy of the beta spectrum 7

Frolova A.N., Anikevich K.P. Problems of spent nuclear fuel storage 11

Frolova A.N. Information collection and processing system as a basis for building integrated safety systems 14

Chuprynin S.A Modernization of steam water ejector refrigerating machine for the pur-pose of purification of additional water 22

Shapovalenko V.V. Selection of operating parameters for VVER reactors 27

Shapovalenko V.V. Comparison of two projects of pressurized water-water reactors Chinese reactor "Hualong One-1000" and Russian reactor VVER-1200 32

Alternative and renewable energy sources **39**

Abeydulin S.A., Frolova A.N Study of operating modes of a photovoltaic power plant in parallel operation with a power system 39

Abeidulin S.A., Davidenko E.N. Energy-saving technologies of processing materials for the production of energy complex components based on wind and solar power plants 45

Borisov B.E., Kuvshinov V.V., Abeidulin S.A. Use of relay protection and automation systems in operation of energy complexes with installations based on renewable energy 50

Kuvshinov V.V., Davidenko E.N., Bordan D.F., Bereznyak V.A., Artemenko I.D. Use of the main elements of solar power plants to increase generation ef-ficiency 56

Medzhitov M.R., Frolova A.N., Kuvshinov V.V., Kasnitsky A.D., Zhiltsov A.S. Methods for elimination of the negative impact on the energy networks of the operation of photovoltaic stations 63

Chepenyuk A.A., Skidan A.A. Study of methods for the introduction of renewable energy sources to re-duce the consumption of own needs of the main distribution Substations 68

Chepenyuk A.A., Skidan A.A. A method for solving the problem of lighting the of the Sevastopol State University using renewable energy sources 74

Shesterniova A.M. SCADA ENTEC as an intellectual basis for the future distribution power grid in Russia 81

Shesterniova A.M. Analysis of the application of the "Point of Transformation" as a prospect for the development of the Russian electric power industry 87

Yakimovich B.A., Malyuk E.G., Kakushina E.G. Prospects for the development of distributed energy in the conditions of the Crimean peninsula 91

Electrotechnical complexes and systems **99**

Vysotsky V.E. Self-oscillatory processes in pulse- width regulation of phase voltages of a DC valve motor 99

Gaiduk S.V., Miroshnichenko E.V., Petula A.S. Global trends in the development of electric transport 108

Degterev A.Kh. Estimation of changes in energy consumption for heat supply in Crimea in recent decades 115

Dubkov E.A., Kolodyazhny V.V. The possibility of using wireless charging technology for battery locomotives in hazardous environments 119

Zavyalov V.M., Smoktal N.N., Velilyaev A.S. Galvanically coupled bodies system as a measurement method of high voltage 123

Kanov L.N.,.Koneva S.A, Pronina A.K., Hodak E.N. Analysis of the operating modes systems of electric supply with the up-diffused generation and consumptionc 128

Mayorova Y.A., Tretyachenko V.N. Problems of sustainability of energy systems with dominance power electronic converters 138

Mayorova Y.A. Frequency instability problems and possible solutions 145

Nurzai V.A., Bykovsky Yu.M. Methods and means of controlling the frequency and magnitude of vibration 153

Information technologies in the energy sector 160

Kontyleva E.A., Avdeev I.V. Development of a method for classifying the envelope of a Doppler signal 160

Kontyleva E.A., Sagalaev A.V. Information security of children and adolescents on the internet 165

Korneeva N.K. The use of distance learning in the Moodle system for students of the training direction 14.05.02 "Nuclear power plants: design, operation and engineering", in the study of theoretical mechanics 173

Pelis V.V., Kontyleva E.A., Egorova A.O. The method of assessing the economic component in the organization of information security 177

Skryabina, E.V., Mikhaylova O.S. Model implementation of a probabilistic digital measuring controller for control systems 182

Chemical technologies 185

Vornik O.V., Vedisheva O.V. Efficiency of industrial wastewater treatment in submersible rotating biofilters 185

Kotelnikova S.A., Akimov A.M Carbonate leaching of uranium 191

Pak A.Ya., Larionov K.B., Arysheva G.V., Yankovsky S.A., Povalyaev P.V. Synthesis of carbon nano-onions by DC arc dis-charge from rubber waste in an open-air environment 195

Environmental safety 201

Zablotskaya E.V. Introduction of a system of separate collection of solid municipal waste in the Leningrad region 201

Zablotskaya E.V., Gavrish O.P. Solid municipal waste management in the Leningrad Region 208

Kosovskaya M.A., Tarasenko S.V Development of an environmental management system for the project of the Eastern Pier section of the Novorossiysk Sea Port 215

Kosovskaya M.A., Lenivenko N.N. Analysis of the responses of dendroforms of the common areas of Sevastopol to the impact of anthropogenic factors 224

Kosovskaya M.A., Lenivenko N.N. Analysis of the response reactions of tree plantations in the public gardens of Sevastopol to the action of biological factors 231

For cars 239

ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

УДК 535.33

Методика измерения максимальной энергии бета спектра

Рипп А.Г[1], Мирошниченко Е.В[2]
[1] *Севастопольский государственный университет, ул. Университетская 33, 299053, Севастополь, Россия, ripp1946@mail.ru, evgenijamir@50gmail.com*

Статья поступила 20.02.2023 г.; после доработки 21.02.2023 г,

Аннотация

В данной статье приведены методики измерения максимальной энергии бета-спектра (энергетического спектра бета-излучения) бета-радиоактивных нуклидов предлагаемых при изучении курса «Ядерная физика» студентам направления подготовки «Атомные станции» профиль «Системы контроля и управления атомных станций» методом научного исследования. Рассматриваются два метода исследования – спектрометрический и метод поглощения, описываются достоинства и недостатки методов.

Ключевые слова: энергетический спектр, бета-излучение, функция плотности вероятности, спектрометр, бета-радиоактивные нуклиды, энергия слоя, метод поглощения, поглотитель, коэффициент ослабления, детектор.

Method of measuring the maximum energy of the beta spectrum

Ripp A.G[1], Miroshnichenko E.V[2]
[1]*Sevastopol State University, st. Universitetskaya 33, 299053, Sevastopol, Russia, ripp1946@mail.ru, evgejamir@50gmail.com*

Received 20.02.2023 y.; received in final form 21.02.2023 y.

Annotation

This article presents methods for measuring the maximum energy of the beta spectrum (energy spectrum of beta radiation) of beta-radioactive nuclides offered during the course "Nuclear Physics" to students of the direction of training "Nuclear power plants" profile "Control and management systems of nuclear power plants" by scientific research. Two research methods are considered – the spectrometric and the absorption method, the advantages and disadvantages of the methods are described.

Keywords: energy spectrum, beta radiation, probability density function, spectrometer, beta radioactive nuclides, layer energy, absorption method, absorber, attenuation coefficient, detector.

Введение

Перспектива развития атомной энергетики в современном мире предъявляет повышенные требования и приводит к поиску новых решений при подготовке специалиста для предприятий атомной отрасли. Работодатели, для решения вновь вводимых задач на производстве атомной энергетики, требуют модернизации подготовки специалистов, а также формирование у молодых инженеров навыков решать специфические задачи, которые требуют научно-технической поддержки. Следовательно профессиональные компетенции, вводимые в основную образовательную программу по требованиям работодателей, должны формироваться в ходе образовательного процесса под конкретную должность, специальность. Тесная связь между вузом и предприятием позволяет непрерывно корректировать подготовку специалиста при изменении потребностей.

Подготовка инженера включает в себя деятельность по производству знаний («система знаний»). Процесс выработки новых научных знаний – научные исследования, одна из форм познавательной деятельности при подготовке специалиста-инженера технического направления. Научное познание характеризуется системностью и научной методологией, а следовательно студента необходимо сориентировать и мотивировать на исследовательскую работу.

Постановка задачи

Авторы статьи предлагают принципиально новый подход к проведению лабораторных занятий при изложении курса «Ядерная физика» направления подготовки «Атомные станции» позволяющий проводить занятие как исследовательское. Такой тип занятия раскрывает знания и умения обучаемого, дает возможность провести самостоятельное исследование и применить научный подход для получения результата, проявить навыки планирования своей работы и анализа полученных результатов.

Описание исследования

Метод проведения учебного занятия методом исследования раскрываем на примере проведения лабораторного занятия: «Энергия бета-спектра». При изучении теоретического материала обучаемые знают, что энергетический спектр бета-излучения бета-радиоактивных нуклидов непрерывный, и лежит он в некотором конечном интервале $(0, E_{\beta max})$.

График энергетического спектра показан на рисунке 1.

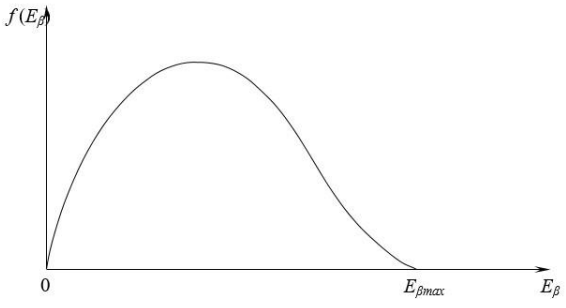


Рис. 1. Энергетический спектр-бета частиц, возникающих при бета-распаде

Функция $f(E_\beta)$ – это функция плотности вероятности энергии бета-частицы E_β, значение $E_{\beta max}$ называется *максимальной* или *граничной* энергией бета-спектра. У каждого бета-радиоактивного нуклида максимальная энергия своя, для большинства радионуклидов она лежит в интервале от 10 кэВ до 5 МэВ.

Для измерения максимальной энергии бета-спектра используются два метода.

Первый метод – спектрометрический. Он состоит в том, что с помощью специального спектрометра (обычно – магнитного) с достаточной подробностью измеряется бета-спектр для получения кривой, показанной на рисунке 1.

В результате получается и значение $E_{\beta max}$. Достоинство этого метода в высокой точности измерений, которая тем выше, чем лучше спектрометр. Недостаток – дороговизна: даже не самый лучший спектрометр – это дорогой прибор, использование которого оправдывается при проведении научных исследований, но не в учебном процессе (при проведении лабораторных работ).

Второй метод – это метод поглощения. Он основан на том, что от энергии бета-частиц зависит их максимального пробега в поглотителе R_{max} [1, 2, 3]. Теоретически эту зависимость получить сложно, поэтому есть несколько эмпирических формул, связывающих пробег бета-частиц с их энергией. Есть формулы для моноэнергетических пучков бета-частиц, а есть и для бета-частиц, излученных радионуклидом. Этот метод обладает невысокой точностью – во-первых, погрешность, которую дают эмпирические формулы, не менее 5%, во-вторых, такая же погрешность (и даже больше) у результата измерения максимального пробега бета-частиц в поглотителе R_{max}. Достоинство метода в его простоте: надо провести серию измерений потока бета-частиц на выходе из поглотителя, который создаётся пачкой из листков фольги. Такой метод вполне пригоден для студенческой лабораторной работы: требуется только источник бета-частиц (проще всего, электронов), набор листков фольги, изготовленной с достаточно высоким качеством, чтобы толщина её была выдержана вполне определённой, и счётчик частиц – достаточно обычного счётчика Гейгера-Мюллера.

Как указано, погрешность, которую даёт метод поглощения, возникает по двум причинам: из-за неточности эмпирических формул и из-за неточности измерения максимального пробега электронов в поглотителе.

Эту погрешность несколько можно уменьшить. Дело в том, что характер ослабления электронного пучка, излученного радионуклидом, является экспоненциальным – правда на протяжении пути, длина которого не более 1/3 максимального пробега. Об этом говорится в [3, 4, 6]. Следовательно, поток электронов Φ при толщине поглотителя $d < R_{max}$ зависит от толщины

поглотителя так:

$$\Phi(d) = \Phi_0 e^{-\mu d}, \quad (1)$$

где μ – линейный коэффициент ослабления излучения, Φ_0 – поток электронов на входе в поглотитель. Коэффициент ослабления зависит от материала поглотителя и – главное – от максимальной энергии бета-спектра $E_{\beta max}$. Эта зависимость описывается эмпирическими формулами. В [5] и [6] приводится формула

$$\frac{\mu}{\rho} = 22E_{\beta max}^{-4/3}, \quad (2)$$

в которой ρ – плотность поглотителя, при этом отношение $\frac{\mu}{\rho}$ измеряется в $\frac{см^2}{г}$, а максимальная энергия $E_{\beta max}$ – в МэВ. В [3] даётся немного иная эмпирическая формула:

$$\frac{\mu}{\rho} = 18{,}5E_{\beta max}^{-1{,}48}. \quad (3)$$

Сравнение формул (2) и (3) приводит к выводу, что погрешность этих формул типична для большинства эмпирических формул: порядка 5%. Таким образом, если измерять не максимальный пробег электронов R_{max}, а коэффициент ослабления электронного пучка μ, то замена одних эмпирических формул другими не даёт выигрыша в точности измерения максимальной энергии бета-спектра $E_{\beta max}$. Однако выигрыш всё же есть – он в том, что коэффициент ослабления можно измерить гораздо точнее, чем максимальный пробег: погрешность измерения максимального пробега R_{max} может достигать 20%, а погрешность измерения коэффициента ослабления μ – не более 2%.

Но главный выигрыш в другом: появляется возможность кардинально изменить основную задачу лабораторной работы. Работа из чисто измерительной становится исследовательской – студенту предлагается исследовать характер ослабления электронного пучка в веществе и убедиться в том, что при не очень большой толщине поглотителя поток электронов убывает экспоненциально. Для этого нужно от потока Φ перейти к его логарифму – согласно формуле (1). Работа из чисто измерительной становится исследовательской – студенту предлагается исследовать характер ослабления электронного пучка в веществе и убедиться в том, что при не очень большой толщине поглотителя поток электронов убывает экспоненциально.

$$ln\Phi(d) = ln\Phi_0 - \mu d. \quad (4)$$

Зависимость $ln\Phi$ от толщины поглотителя d – линейная. Построив по результатам измерений график зависимости $ln\Phi(d)$, студент увидит, в каком диапазоне толщин графиком зависимости является прямая линия, а стало быть, поток убывает экспоненциально. Следовательно, студент сможет сделать вывод, для какого диапазона толщин поглотителя выполняется формула (1). Это – чистой воды исследование, а научить студента, изучающего физику, проводить экспериментальные исследования методологически гораздо важнее, чем научить его проводить измерения – для изучения методов измерения есть специальная дисциплина: метрология. Кроме указанного исследования, студент может измерить угловой коэффициент линейной части зависимости $ln\Phi(d)$, который равен коэффициенту ослабления электронного пучка, а по нему с помощью эмпирических формул – максимальную энергию бета-спектра. Это значит, что задача измерения $E_{\beta max}$ не снимается, но становится второстепенной – как задача, дополнительная к главной: исследованию зависимости потока электронов от толщины поглотителя.

Кафедра «Физика» СевГУ (Севастопольского государственного университета) на протяжении более 5 лет преподаёт студентам направления подготовки «Атомные станции» дисциплину «Ядерная физика», в рамках которой студенты выполняют лабораторные работы (наряду с другими видами учебных работ) – том числе, лабораторную работу «Энергия бета-спектра», и эту работу они выполняют по той методике, которая описана в данной статье. (Мы, кстати, планируем изменить название данной лабораторной работы на «Поглощение электронного пучка в веществе».) В качестве иллюстрации на рисунке 1 показан график, построенный одной из студенческих подгрупп в прошедшем учебном году.

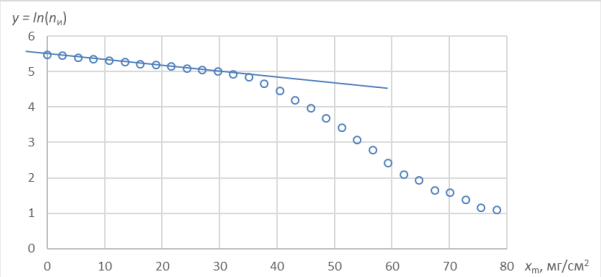


Рис. 1. Зависимость вспомогательной величины y от массовой толщины поглотителя x_m

На этом графике nи – это скорость счёта детектора за вычетом фоновой скорости счёта. Величина nи пропорциональна потоку электронов пучка Ф. Отчётливо видна прекрасная линейная зависимость при толщинах поглотителя, меньших 30 мг/см2. Для сравнения: толщина поглотителя, при которой ln(nи) снижается до уровня фона, которая представляет собой максимальный пробег электронов Rmax, оказалась в эксперименте равной примерно 100 мг/см2.

Выводы

Авторы считают, что использование двух разных подходов к решению одной задачи имеет важное педагогическое значение, так как позволяет студентам глубже и надёжней освоить изучаемый материал и понять причинно-следственные связи между различными явлениями, приводящими к одному и тому же результату. Знания полученные методом исследования запоминаются лучше. Такой подход к процессу обучения формирует у будущих инженеров-атомщиков способность заниматься научной деятельностью, самотоятельно проводить эксперимент и решать поставленные перед ним задачи.

Список литературы

1. Практикум по ядерной физике. И.А. Антонова, А.Н. Бояркина, Н.Г. Гончарова и др. Изд-во Моск. ун-та. Изд. 4. 1988.
2. Практикум по ядерной физике : [пособие по выполнению лабораторных работ] / Н. Г. Ивойлов, Г. Д. Курбатов [и др.] ; науч. ред. Ш. Ш. Башкиров ; Лебедев, Казанский университет им. В. И. Ульянова-Ленина.[КазГУ]. – Казань : Казанский университет [КазГУ], 1985. - 126 с.
3. Оптика и ядерная физика: Учебное пособие для выполнения лабораторных работ. Максутов И.А., Матюшина Л.Н., Мишина Л.А. и др. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. 45 с.
4. Справочник по ядерной физике. Немец О.Ф., Гофман Ю.Б. – Киев, Наукова думка, 1975, 417 с.
5. Ядерная физика и её приложения: учебное пособие / Рыжакова Н.К.; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. − Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 276 с.
6. Атомная и ядерная физика: общий физический практикум. Ч. 2. Ядерная физика: учеб. пособие / сост. А. С. Ажеганов, И. Л. Вольхин, И. В. Изместьев, И. В. Лунегов; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2020. – 112 с.: ил.

References

1. Workshop on nuclear physics. I.A. Antonova, A.N. Boyarkina, N.G. Goncharov and others. Publishing House of Moscow. university Ed. 4. 1988.
2. Workshop on nuclear physics: [a manual for laboratory work] / N. G. Ivoilov, G. D. Kurbatov [and others]; scientific ed. Sh. Sh. Bashki-ditch; Lebedev, Kazan University. V. I. Ulyanov-Lenin. [KazGU]. - Kazan: Kazan University [KazGU], 1985. - 126 p.
3. Optics and nuclear physics: Textbook for laboratory work. Maksutov I.A., Matyushina L.N., Mishina L.A. and others. Chelyabinsk: Publishing House of YuUrGU, 2003. 45 p.
4. Handbook of nuclear physics. Nemets O.F., Hoffman Yu.B. – Kyiv, Naukova Dumka, 1975, 417 p.
5. Nuclear physics and its applications: textbook / Ryzhakova N.K.; National Research Tomsk Polytechnic University. − Tomsk: Publishing House of the Tomsk Polytechnic University, 2010. – 276 p.
6. Atomic and nuclear physics: general physical practice. Part 2. Nuclear physics: textbook. allowance / comp. A. S. Azheganov, I. L. Volkhin, I. V. Izmestiev, I. V. Lunegov; Perm. state nat. research un-t. - Perm, 2020. - 112 p.: ill.

УДК 621.039.59

Проблемы хранения отработавшего ядерного топлива

А.Н. Фролова, К.П. Аникевич
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская, 33,г. Севастополь, 299053, Россия , ANFrolova@sevsu.ru

Статья поступила 06.02.2023 г.; после доработки 08.02.2023 г.

Аннотация
В порядке обсуждения рассматривается проблемы обеспечения безопасности хранения отработавшего ядерного топлива. В результатах приведены преимущества сухого хранилища отработавшего ядерного топлива.

Ключевые слова: отработавшее ядерное топливо, хранилище отработавшего ядерного топлива.

Problems of spent nuclear fuel storage

A.N. Frolova, K.P. Anikevich
Sevastopol State University, 33 Universitetskayast., Sevastopol, 299053, Russia, ANFrolova@sevsu.ru

Received 06.02.2023 y.; received in final form 08.02.2023 y.

Abstract
By way of discussion, the problems of ensuring the safety of spent nuclear fuel storage are considered. The results show the advantages of dry storage of spent nuclear fuel.

Keywords: spent nuclear fuel, spent nuclear fuel storage.

Введение

Все страны, развивающие атомную энергетику, сталкиваются с проблемой нехватки объемов для хранения отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). Сегодня в России на площадках АЭС и в хранилищах радиохимических заводов размещено около 16000 т ОЯТ. Ежегодный прирост хранящегося топлива составляет более 850 т. Увеличение количества ОЯТ делает проблему обеспечения безопасности все более актуальной [3]. Проблему увеличения вместимости хранилищ ОЯТ можно решить тремя способами – построить дополнительные сооружения, реконструировать старые или перейти к новым способам хранения.

Постановка задачи

Ядерный топливный цикл завершается безопасным, надежным и устойчивым обращением с ОЯТ, предусматривающим его хранение после удаления из активной зоны реактора, по истечении которого следует либо его переработка/рециклирование, либо окончательное захоронение. Судьба ОЯТ может складываться по-разному. В большинстве стран ядерное топливо, отработавшее положенный срок в реакторе АЭС, считают радиоактивными отходами и отправляют в могильники или вывозят за рубеж. Сторонники такого подхода (среди них, например, США, Канада, Финляндия) придерживаются мнения, что на планете достаточно запасов урановой руды, чтобы осваивать дорогостоящий, сложный и потенциально опасный процесс переработки ОЯТ. Россия и еще несколько ядерных держав (в том числе Франция, Англия, Индия) развивают технологии переработки облученного топлива и стремятся к тому, чтобы в перспективе полностью замкнуть топливный цикл.

Замкнутый цикл предполагает, что полученное из урановой руды и отработавшее в реакторе

топливо будет снова и снова перерабатываться и использоваться на АЭС. В результате ядерная энергетика фактически превратиться в возобновляемый ресурс, снизится количество радиоактивных отходов, а человечество будет обеспечено относительно дешевой энергией на тысячи лет.

Залогом обеспечения устойчивости ядерной энергетики в глобальном масштабе являются надежные, безопасные, устойчивые с точки зрения распространения и экономически эффективные ядерные топливные циклы, позволяющие свести к минимуму объемы образующихся отходов и масштабы воздействия на окружающую среду.

В данной работе будут рассмотрены технологии хранения ОЯТ, их преимущества и недостатки.

Основная часть

Отработавшее топливо атомных электростанций требует особого обращения. Находясь в реакторе, ТВЭЛы накапливают большое количество продуктов деления, и даже спустя годы после извлечения из активной зоны выделяют тепло: на воздухе стержни разогревается до нескольких сотен градусов. Поэтому по окончании топливной кампании облученные сборки помещают в пристанционные бассейны выдержки. Вода отводит избыточное тепло и защищает персонал АЭС от повышенного уровня радиации.

Спустя три-пять лет ТВС все еще выделяют тепло, но временное отсутствие охлаждения уже не опасно. Пользуясь этим, ОЯТ можно вывезти с электростанции в специализированные хранилища. В России отработавшее топливо отправляют на ПО «Маяк» (Челябинская область) и Изотопно-химический завод Горно-химического комбината (Красноярский край). ГХК специализируется на хранении топлива реакторов ВВЭР-1000 и РБМК-1000. На предприятии действуют водоохлаждаемое и сухое хранилища ОЯТ.

Надо помнить, что ОЯТ в отличие от «свежего» топлива имеет значительную радиоактивность за счет содержания большого количества продуктов деления, которые определяют его активность и токсичность.

Хранилища отработавшего топлива должны обеспечить ядерную и радиационную безопасность ОЯТ, минимальные выбросы радиоактивности в окружающую среду, сохранность топлива и безопасность персонала.

Температура воды в бассейне водоохлаждаемого хранилища не должна превышать 50 0С. Вода также должна быть очищена от продуктов коррозии (для обеспечения необходимой прозрачности при проведении дистанционных перегрузочных операций с ОЯТ под водой) и от радионуклидов (чтобы предотвратить накопление радиоактивности).

Ядерная безопасность, то есть создание и поддержание условий, направленных на предотвращение возникновения самоподдерживающейся цепной реакции деления (СЦР), в основном обеспечивается шагом расположения топливных сборок в бассейне (расстоянием между ними), использованием поглотителей нейтронов, сохранностью отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) в процессе хранения. Слой воды над активной частью сборок, толщина стен бассейна, скорость коррозионных процессов, герметичность ОТВС определяют условия радиационной безопасности.

Основным недостатком хранения ОЯТ под водой является ограничение времени хранения (не более 40-50 лет) из-за коррозии оболочек твэлов и дистанционирующих решеток.

Также в настоящее время для долговременного хранения ОЯТ используют метод сухого хранения в специальных зданиях или контейнерах. Эта технология предполагает использование в качестве теплоносителя воздуха или инертного газа. Сухой способ имеет ряд преимуществ перед хранением топлива под водой.

Это возможность использования пассивных методов охлаждения, отсутствие системы водоочистки и водоподготовки (то есть снижение трудовых и материальных затрат), уменьшение количества образующихся жидких РАО (в бассейнах это вода хранилищ).

Ядерная безопасность в сухих хранилищах обеспечивается отсутствием замедлителя нейтронов (воды), наличием не менее двух барьеров герметичности для ОЯТ, ограничением на количество и расположение ОТВС, обеспечением сохранности сборок в течение проектного срока хранения. Для исключения запроектных аварий в виде внешних воздействий и проникновение внутрь хранилища воды, их строят в местах, хорошо защищенных от внешних воздействий, и ОЯТ размещают в прочных контейнерах.

Заключение

Изначально превалирующее большинство хранилищ отработавшего топлива, были так называемого «мокрого» типа. Но учитывая их недостатки, а также прогресс инженерной мысли, начали появляться «сухие» хранилища.

Они обладают следующими преимуществами:

- возможность строительства очередями и более низкие начальные инвестиции в сооружение;
- пассивная система отвода остаточных тепловыделений от ОТВС;
- незначительное образование РАО при эксплуатации хранилища, почти полное отсутствие образования жидких РАО;
- низкие эксплуатационные затраты (намного ниже, чем затраты при хранении ОТВС в бассейнах).

Сухое хранение ОЯТ также является промежуточным — то есть, по истечении определенного времени, топливо необходимо будет извлечь и направить на переработку или окончательное захоронение. Однако после периода сухого хранения ОЯТ, его уровни излучения и температура будут намного ниже, что значительно облегчит обращение с ним.

Список литературы

1. В.А. Апсе. Ядерные технологии. – М.: МИФИ, 2003. – 310с.
2. В.Б. Глебов, А.В. Измайлов, А.Н. Румянцев. Введение в системы учета, контроля и физической защиты ядерных материалов. – М.: МИФИ, 2002. – 212с.
3. Федеральный закон РФ «Об использовании атомной энергии» от 21.11.1995 №170-ФЗ [Электронный источник]URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8450/ (дата обращения 07.02.2023).
4. Электронный ресурс: [Электронный источник] URL: http://www.atomic energy.ru/articles/2008/10/22/491(дата обращения 01.02.2023).
5. Электронный ресурс: [Электронный источник] URL: https://habr.com/ru/post/400511/(дата обращения 31.01.2023).
6. Электронный ресурс: [Электронный источник] URL https://www.atomic-energy.ru/SMI/2018/04/09/84831 (дата обращения 21.01.2023).

References

1. V.A. Apse. Nuclear technologies. – M.: MEPhI, 2003. – 310s.
2. V.B. Glebov, A.V. Izmailov, A.N. Rumyantsev. Introduction to the systems of accounting, control and physical protection of nuclear materials. – M.: MEPhI, 2002. – 212s.
3. Federal Law of the Russian Federation "On the Use of Atomic Energy" dated 21.11.1995 No. 170-FZ [Electronic source]URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8450 / (accessed 07.02.2023).
4. Electronic resource: [Electronic source] URL: http://www.atomic energy.ru/articles/2008/10/22/491 (accessed 01.02.2023).
5. Electronic resource: [Electronic source] URL: https://habr.com/ru/post/400511 /(accessed 31.01.2023).
6. Electronic resource: [Electronic source] URL https://www.atomic-energy.ru/SMI/2018/04/09/84831 (accessed 21.01.2023).process [Electronic source] URL: https://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_06_fobos.html (accessed 01.02.2023).

УДК 004.67

Система сбора и обработки информации как основа построения интегрированных систем безопасности

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

Статья поступила 06.02.2023 г.; после доработки 08.02.2023 г.

Аннотация

В порядке обсуждения рассматривается возможности и характеристики аппаратуры сбора информации от технических средств, различные методы сбора и обработки информации, аппаратура тревожного оповещения, технологии передачи данных, методы контроля за состоянием линии связи средств обнаружения, оборудование станции сбора и обработки данных В результатах приведены преимущества применения интегрированных систем безопасности.

Ключевые слова: интегрированная система безопасности, система сбора и обработки данных.

Information collection and processing system as a basis for building integrated safety systems

A.N. Frolova
Sevastopol State University, 33 Universitetskayast., Sevastopol, 299053, Russia, ANFrolova@sevsu.ru

Received 06.02.2023 y.; received in final form 08.02.2023 y.

Abstract

By way of discussion, the possibilities and characteristics of information collection equipment from technical means, various methods of collecting and processing information, alarm notification equipment, data transmission technologies, methods of monitoring the state of the communication line of detection means, equipment of the data collection and processing station are considered. The results highlight the advantages of using integrated security systems.

Keywords: integrated security system, data collection and processing system.

Введение

Одним из видов деятельности в области использования атомной энергии является физическая защита ядерных материалов (ЯМ).

Физическая защита ЯМ – это деятельность, осуществляемая в целях предотвращения диверсий и хищений в отношении ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ЯМ.

Обеспечение физической защиты ядерных установок, радиационных источников, пунктов хранения, ЯМ и радиоактивных веществ осуществляется на всех этапах проектирования, сооружения, эксплуатации и вывода из эксплуатации указанных объектов использования атомной энергии, а также при обращении с ЯМ и радиоактивными веществами, в том числе при транспортировании ЯМ и радиоактивных веществ.

Для достижения целей физической защиты на ядерном объекте должна быть создана система физической защиты (ФЗ), включающая комплекс инженерно-технических средств ФЗ, персонал физической защиты и совокупность организационных мер.

К техническим средствам ФЗ относятся элементы и устройства, входящие в состав следующих основных функциональных систем:

- охранной сигнализации;
- тревожно-вызывной сигнализации;
- оптико-электронного наблюдения и оценки ситуации;
- контроля и управления доступом;
- оперативной связи и оповещения;
- защиты информации;
- обеспечения электропитания, освещения.

Объединяет работу всех технических средств система сбора и обработки информации (ССОИ).

ССОИ – система комплекса технических средств физической защиты, которая обеспечивает сбор, обработку, передачу и отображение информации о состоянии средств обнаружения и других технических средств системы физической защиты.

Постановка задачи

В данной работе будут рассмотрены возможности и характеристики аппаратуры сбора информации от технических средств, различные методы сбора и обработки информации, аппаратура тревожного оповещения, технологии передачи данных, методы контроля за состоянием линии связи средств обнаружения, оборудование станции сбора и обработки данных.

Для эффективной ССОИ характерно: быстрое реагирование, наблюдение за состоянием всех линий связи, простота и быстрота обнаружения неисправностей в отдельных точках системы, наблюдение за состоянием извещателей и возможность расширения системы. Струтура ССОИ в общем виде может быть представлена рис. 1.

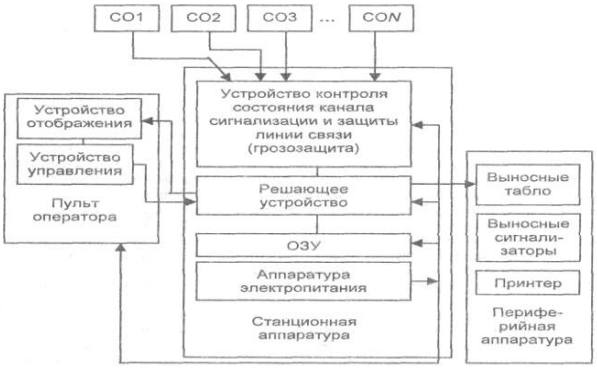


Рис. 1. Обобщенная структурная схема построения ССОИ

В настоящее время существуют разнообразные ССОИ. Они различаются по многим признакам, начиная с назначения, зависящего от степени важности объекта, и заканчивая применяемой элементной базой, на основе которой построены ее компоненты. Чтобы уверенно ориентироваться в существующих и вновь разрабатываемых системах, понимать и учитывать их достоинства и недостатки, были поставлены следующие задачи:

- выделить основные функции ССОИ;
- рассмотреть основные тактико-технические характеристики ССОИ.

Основная часть

Чтобы выделить основные функции и рассмотреть основные тактико-технические характеристики ССОИ рассмотрим классификацию (рис. 2.) по следующим укрупненным признакам:

- назначение;
- структура построения;
- энергообеспечение;
- степень защиты линии сигнализации от обхода;
- обеспечение контроля работоспособности аппаратуры;
- методы отображения информации;
- обеспечение регистрации информации;
- возможность управления внешними устройствами;
- обеспечение возможности информационного обмена с другими системами (системами контроля доступа, системами телевизионного наблюдения и т.п.) с помощью стандартных интерфейсов.

Рассмотрим кратко классификацию ССОИ по названным признакам.

По назначению. Назначение ССОИ определяется главным образом оперативно-тактическими задачами системы охраны, в которой она применяется. ССОИ могут быть предназначены для охраны народнохозяйственных объектов (нережимных) или объектов специального назначения (особо важных, режимных).

По структуре построения. В зависимости от структуры построения ССОИ делятся по следующим признакам (рис. 3):

- структурная схема построения ССОИ;
- количество каналов сигнализации (емкость ССОИ);
- способ подключения СО к каналу сигнализации;

- тип линии связи (линия связи из состава канала сигнализации);
- наличие периферийных (выносных) устройств отображения, сигнализации и управления.

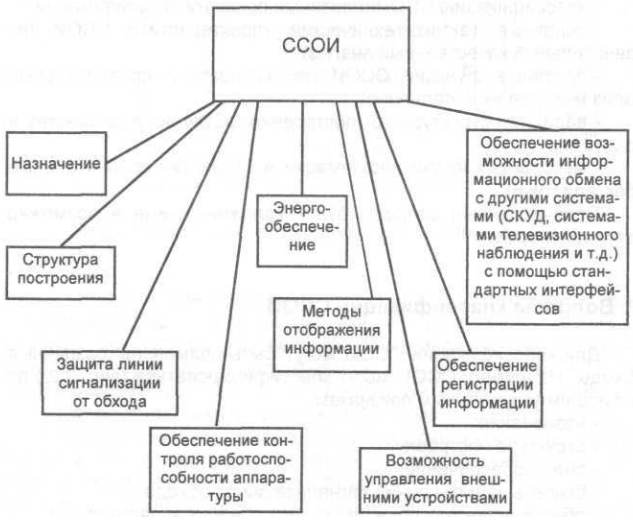


Рис.2. Укрупненные признаки классификации ССОИ

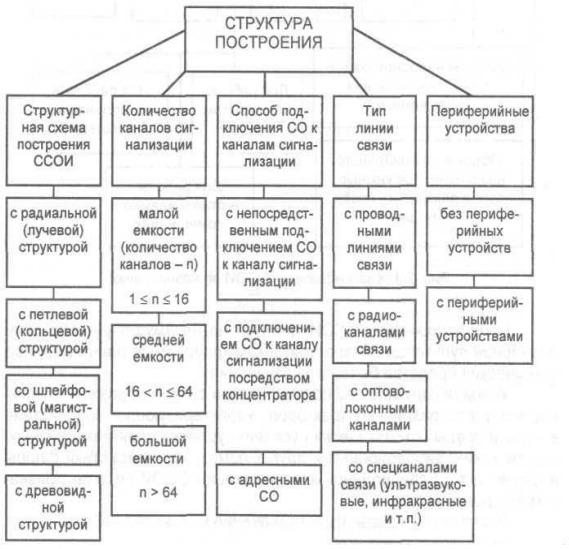


Рис.3. Классификация ССОИ в зависимости от структуры построения

Структурная схема построения. В зависимости от структурной схемы построения ССОИ подразделяются на системы с радиальной (лучевой), с петлевой (кольцевой), шлейфовой (магистральной) и с древовидной структурой построения.

При радиальной структуре построения СО подключаются к ССОИ с помощью индивидуальных линий связи.

В ССОИ с другими схемами построения СО подключаются к одной линии связи с помощью периферийных блоков. При этом сигналы передаются в цифровом виде и содержат адресную и информационную части.

Количество каналов сигнализации. Канал сигнализации - это совокупность аппаратно-программных средств ССОИ, предназначенных для контроля над состоянием одного СО. Это понятие позволяет определять количество каналов сигнализации независимо от структуры построения ССОИ. Например, при радиальной структуре построения каналы сигнализации различаются линиями связи (лучами) с СО, а при шлейфовой - адресами контролируемых СО.

В зависимости от количества каналов сигнализации ССОИ обычно делятся на системы малой, средней и большой емкости.

Способ подключения СО. К каналу сигнализации можно подключить определенное количество СО. Для охраны объектов специального назначения требуется конкретизировать место проникновения. Поэтому в таких системах используются каналы сигнализации с одним СО. Иногда для охраны одного помещения допускается объединение нескольких СО, но при этом не допускается простое подключение нескольких СО к каналу сигнализации, так как в данных системах обязателен контроль работоспособности всех СО (что невозможно осуществлять при простом параллельном или последовательном соединении сигнальных цепей СО). Для подключения нескольких СО к одному каналу сигнализации в системах используются концентраторы, позволяющие, помимо объединения СО, производить проверку их работоспособности.

В системах со шлейфовой, петлевой или древовидной структурой применяются адресные СО (имеющие в своем составе устройства для организации обмена информацией) или обычные СО (с релейными выходами), подключаемые посредством специальных переходников (периферийных блоков).

В зависимости от способа подключения СО ССОИ подразделяются на системы:

- с непосредственным подключением СО к каналу сигнализации;
- с подключением СО к каналам сигнализации посредством концентратора;
- с адресными СО.

Тип линии связи. Передача информации между СО, периферийными устройствами и станционной частью ССОИ может осуществляться по линиям связи разного типа. В зависимости от используемого типа линии связи различают следующие ССОИ:

- с проводными линиями связи;
- с радиоканалами связи;
- с оптоволоконными линиями связи;
- со специальными линиями связи (ультразвуковые, инфракрасные и т.п.).

Периферийные устройства. Наличие или отсутствие в составе ССОИ дополнительных выносных (периферийных) устройств отображения, сигнализации и контроля (постовые пульты, выносное табло, сирена и т.п.) делит их на системы без выносных устройств и с выносными устройствами отображения, сигнализации и управления.

По организации энергообеспечения. В зависимости от вида электропитания ССОИ делятся на системы с сетевым электропитанием и с автономным электропитанием от аккумуляторов.

По способам обеспечения контроля работоспособности аппаратуры.

Контроль работоспособности аппаратуры ССОИ может быть (рис. 4.):

- полным - проверяется работоспособность СО, соединительных линий и станционной части ПСОИ или частичным - отсутствует контроль одного или более элементов из указанного выше ряда;
- автоматическим - осуществляется автоматическая проверка работоспособности элементов ССОИ. Автоматический контроль, в свою очередь, может быть непрерывным или периодическим;
- автоматизированным (по команде оператора).

Автоматизированный и автоматический контроль могут быть с диагностикой причин неисправности или без диагностики причин неисправности.

По методам отображения информации. Под отображением информации применительно к ССОИ понимается такое представление возникающей в ССОИ информации, которое обеспечивает возможно более удобное восприятие ее личным составом службы охраны (человеком-оператором).

Отображение информации может быть визуальное, акустическое, текстовое и в специальных случаях - тактильное (ощущение прикосновения, например, пальцами). Акустические сигналы, в свою очередь, можно разделить на тональные и речевые, формируемые синтезатором речевых сообщений. По форме представления сигнала его отображенный образ может быть текстовым сообщением (на табло или мониторе), графическим изображением (на экране монитора - графическое представление объекта, коридора, комнаты и т.п. с указанием СО, подавшего тревогу). Посредством светоиндикации формируется отображение (с помощью светодиодов) режима работы и состояния канала сигнализации, блоков питания, наличия сетевого напряжения и т.п.

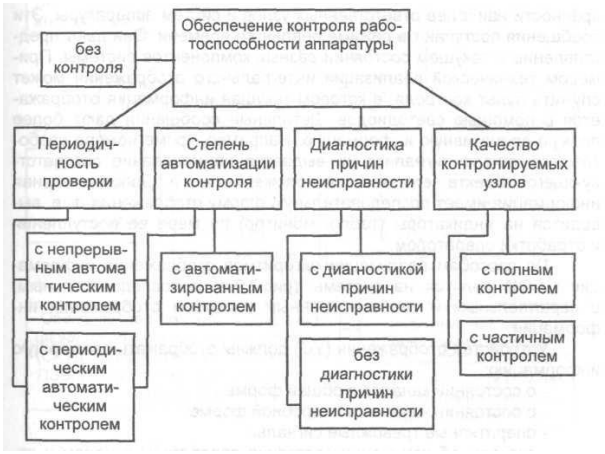


Рис. 4. Классификация ССОИ по способу контроля работоспособности аппаратуры

Важный параметр отображения информации - степень ее детализации. По степени детализации визуальные сообщения делятся на интегральные (обобщенные) и детальные. К интегральным сообщениям относятся сообщения о текущих режимах работы, состоянии каналов сигнализации, а также о режимах функционирования и исправности наиболее ответственных узлов и систем аппаратуры. Эти сообщения поступают в режиме реального времени. Они дают представление о текущем состоянии разных компонентов системы.

Устройства отображения (УО) должны отображать следующую информацию:

- о состоянии каналов в общей форме;
- о состоянии каналов в подробной форме;
- оперативные тревожные сигналы;
- сигналы об изменении состояния аппаратуры в целом и отдельных ее блоков;
- сигналы, выводимые из памяти;
- текущее время и дату.

Тревожные сигналы и сигналы об изменении состояния системы должны иметь приоритет перед остальными сигналами.

Существующие устройства отображения можно подразделить на четыре вида по способу представления информации: точечные; цифровые; знаковые; знакографические.

Способ представления информации обусловлен номенклатурой приборов индикации и элементной базой, а также объемом информации, представляемой комплексом персоналу охраны.

По способам регистрации информации. ССОИ разделяются по возможности хранения и документирования (распечатки) оперативной информации.

Документирование (распечатка оперативной информации на бумаге) может осуществляться в трех режимах:

- в режиме реального времени (сообщение распечатывается сразу по приходу);
- распечатка содержимого ОЗУ/базы данных (при наличии в составе ССОИ ОЗУ или возможности создания базы данных на ПЭВМ);
- распечатка информации в режиме реального времени с возможностью распечатки содержимого ОЗУ/базы данных.

По организации управления внешними устройствами. ССОИ могут иметь в своем составе устройства, позволяющие автоматически включать различные внешние устройства (сигнализаторы, прожекторы, телекамеры и т.п.). Внешние устройства (ВУ) делятся на:

- индивидуальные для каждого канала сигнализации (они включаются при срабатывании соответствующего СО);
- общие - срабатывают при появлении тревоги по любому каналу.

По возможности обеспечения информационного обмена с другими системами (контроля доступа, телевизионного наблюдения и т.п.) С помощью стандартных интерфейсов. В настоящее время все более актуальным становится объединение различных охранных систем, например: систем охранной и пожарной сигнализации, систем контроля доступа, систем телевизионного наблюдения и др. в интегрированные системы безопасности. Для создания таких систем необходима возможность аппаратно-программной стыковки ССОИ с другими охранными системами.

В современных системах для обмена данными используются стандартные интерфейсы и протоколы обмена информацией (например, rs-232, rs-485), так как это обеспечивает возможность легкой стыковки систем разного назначения и с разными характеристиками. Таким образом, при наличии специально разработанного программного обеспечения и наличии у объединяемых систем портов ввода/вывода со стандартными интерфейсами обмена информацией можно объединить охранные системы разного назначения в единую (интегрированную) систему безопасности.

Функции ССОИ в составе комплексов ТСОС

По мере совершенствования тактики охраны, развития элементной базы и информационных компьютерных технологий основными функциями ССОИ стали:

- сбор информации о состоянии средств обнаружения;
- логическая обработка поступающей информации;
- визуальное и звуковое отображение сигнализационной информации;
- управление режимами работы каналов сигнализации и комплекса ТСОС в целом;
- контроль несения обходно - дозорной службы;
- обеспечение электропитанием СО и периферийных устройств;
- автоматический и/или автоматизированный контроль за работоспособностью ССОИ, СО и целостностью соединительных линий;
- управление внешними устройствами;
- управление системой тревожного оповещения (СТО);
- регистрация и хранение в оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ) информации о действиях оператора, тревожных ситуациях и неисправностях, вывод всей информации или информации по определенному каналу или виду события на устройства отображения или принтер;
- документирование информации (получение распечатки на бумаге с помощью специализированных цифропечатающих устройств или принтера);
- обеспечение возможности информационного обмена с другими системами (системой контроля доступа, системой автоматической передачи данных по радиоканалу подвижным постам охраны, другими ССОИ, ПЭВМ и т.д.) с помощью стандартных информационных интерфейсов.

Кроме того, имеется возможность создания специальных сервисных процедур (например, видеоконтроля, звукового оповещения и т.д.).

Концептуально схему функционирования ССОИ можно представить рис. 5.

Решающее устройство системы, следуя инструкциям программы функционирования (алгоритму), обрабатывает поток событий с учетом текущих факторов для обеспечения требуемой

реакции ССОИ.

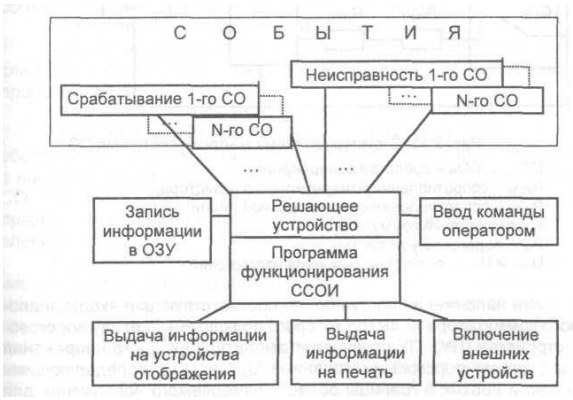


Рис.5 Концептуальная схема функционирования ССОИ

В основу работы большинства ССОИ положен принцип контроля состояния СО в каждом канале посредством измерения суммарного сопротивления сигнальной цепи канала. На рис. 6 представлена структурная схема, поясняющая принцип контроля состояния СО.

Источники тока на своих выходах формируют опорные токи. Напряжения каждого канала сигнализации определяются значениями этих токов и суммарным сопротивлением канала, которое в свою очередь определяется сопротивлениями измерительного резистора $К_{изм}$ и соединительной линии $Р_{лин}$. а также состоянием контактов (замкнуты или разомкнуты) СО.

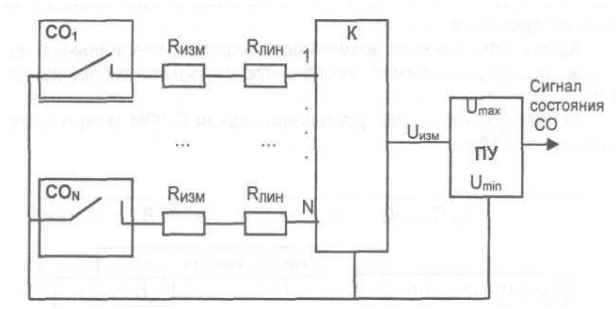


Рис.6. Структурная схема контроля состояния СО

$CO_1 \ldots CO_N$-средства обнаружения;

$R_{изм}$- сопротивление измерительного резистора;

$R_{лин}$- сопротивление соединительной линии;

К- аналоговый коммутатор;

ПУ- пороговое устройство;

U_{max} и U_{min}- пороговые значения напряжений

Эти напряжения поступают на соответствующие входы аналогового коммутатора К, выход которого подключен ко входу порогового устройства (ПУ). ПУ сравнивает амплитуду входного напряжения $U_{изм}$ с двумя пороговыми уровнями U_{min} и U_{max}, определяющими нижнюю и верхнюю границы области измеряемого напряжения для каждого канала в не тревожном состоянии.

Если $U_{min} < U_{изм} < U_{max}$, то ПУ формирует на своем выходе сигнал, соответствующий состоянию СО "Охрана", если же это условие не выполняется, то ПУ формирует на своем выходе сигнал, соответствующий состоянию СО "Тревога". Таким образом, измеряя напряжения на выходах каналов сигнализации, можно определить состояния СО, а также обрыв и короткое замыкание сигнальных цепей соединительных линий.

Для устранения возможного влияния на суммарное сопротивление каждого канала $R_{лин}$, меняющегося со временем и от влияния разных климатических условий, на практике значения $R_{изм}$ и $R_{лин}$ выбираются с учетом следующих соотношений:

$R_{изм} = 1{,}5...10$ кОм, $R_{лин} \le (0{,}01...0{,}05)\ R_{изм}$

Современное ССОИ является аппаратно-программной системой автоматизации сбора, обработки, отображения и документирования информации, позволяющей оператору контролировать состояние КТСО, анализировать потоки информации от аппаратуры КТСО и в разрешенных рамках принимать управленческие решения.

По типу дистанционной проверки работоспособности СО ССОИ должна обеспечивать возможность адаптации для совместной работы с СО:

- без проверки;
- с проверкой путем подачи (снятия) напряжения по специальной цепи контроля СО;
- с проверкой путем снятия напряжения электропитания (большинство импортных СО).

Одним из основных назначений ССОИ является передача достоверной информации от источника информации к оператору. Основными причинами появления ошибок при передаче дискретных сигналов по проводным каналам связи и даже выхода аппаратуры из строя являются различного рода импульсные помехи (естественного происхождения, промышленные, коммутационные).

Для помехозащищенности ССОИ от грозовых импульсов во входные устройства системы вводятся специальные схемы грозозащиты. Как правило, они представляют собой интегрирующие RC-фильтры, ограничители, разрядники или комбинации указанных элементов.

Режим диалога человека с КТСО (обеспечиваемый ССОИ) позволяет достаточно удобно и эффективно выбирать нужную оперативную информацию в реальном масштабе времени.

Понятие диалога подразумевает наличие двух встречно-направленных и логически связанных информационных потоков. Первый поток задает оператор, информируя систему с помощью определенных команд о намерении провести какую-либо операцию. Далее по запрограммированному алгоритму осуществляется взаимодействие "Система - Оператор":

Адекватность ситуационного реагирования оператора во многом зависит от принятых в ССОИ методов отображения информации.

Методы отображения информации отличаются:

- по модальности сигнала - на визуальные, акустические и тактильные; акустические сигналы, в свою очередь, можно разделить на тональные (вызывные) и речевые, формируемые синтезатором речевых сообщений;
- по форме сигнала - на абстрактные (условные) символы и изображения (как правило, графические);
- по степени детализации - на интегральные (обобщенные) и детальные сигналы;
- по функциям выдаваемой информации - на командные (типа "делай это") или ситуационные;
- по тактической важности - на оперативные и текущие информационные сообщения.

Для ССОИ, предназначенных для охраны важных объектов, желательно обеспечить функционирование каждого канала сигнализации в одном из трех режимов:

- «Выключен». В этом режиме на СО не подается питание, не анализируется состояние сигнальной цепи СО и не контролируется линия связи;
- «Деблокирование». В этом режиме на СО не подается питание, не анализируется состояние сигнальной цепи СО, но контролируется линия связи;
- «Охрана». В этом режиме на СО подается питание, анализируется состояние сигнальной цепи СО и контролируется соединительная линия.

В целях повышения надежности и удобства эксплуатации в состав современной СА вводят устройства контроля работоспособности СО, собственно СА и его составных частей. Контроль работоспособности может осуществляться как автоматизировано, путем подачи оператором соответствующих команд, так и автоматически. Автоматический контроль работоспособности производится, как правило, путем непрерывного слежения за соответствующими рабочими параметрами отдельных блоков аппаратуры и выработки в аварийных ситуациях служебных сигналов "Неисправность".

Целями дистанционной проверки работоспособности СО являются как контроль исправности самого СО, так и проверка целостности линии связи с ССОИ.

В общем случае ССОИ регистрирует и запоминает следующие события:

a) нетревожные ситуации;
b) тревожные ситуации.

Эта информация не предназначена для широкого круга лиц, в том числе и для дежурного оператора. Доступ к ее выводу из ОЗУ на средства отображения и документирования должны иметь только сотрудники службы безопасности. Поэтому отображение сообщений, хранящихся в ОЗУ, инициализируется вводом разрешающего кода (пароля).

В целях осуществления контроля за действиями оператора по управлению комплексом ТСОС и для удобства оперативной работы в состав ССОИ вводится аппаратура документирования.

Заключение

Современные ССОИ предназначены для интеграции систем инженерно-технических средств охраны в единый комплекс с целью повышения эффективности их использования и комплексного предоставления информации о работе систем ИТСО оперативному дежурному, ответственным должностным лицам и руководству.

Интегрированная система безопасности за счет интегрированности (связности) систем между собой, действующих вместе как единое целое становится больше чем просто сумма подсистем.

Основной задачей, которую решает процесс интеграции, является реализация алгоритма: событие, произошедшее в одной подсистеме, по заранее определённому правилу воздействует на другие подсистемы, вызывая их автоматическую реакцию.

ССОИ играет важную роль в процессе успешного принятия мер в ответ на возникновение угрозы. Система обеспечивает управление потоком информации, которой обмениваются системы обнаружения

проникновения, оценки аварийной ситуации, задержки доступа и развертывания ответных действий.

Создание ССОИ на базе персональных компьютеров открыло широкие возможности для разработчиков интегрированных систем безопасности. Такие процессы как обработка, отображение, хранение и документирование информации, обмен информацией с другими системами получили новый качественный уровень развития

Список литературы

1. . М. Гарсиа «Проектирование и оценка систем физической защиты». Издательство «Мир», Москва, 2003 г.
2. В.Б. Глебов, А.В. Измайлов, А.Н. Румянцев. Введение в системы учета, контроля и физической защиты ядерных материалов. – М.: МИФИ, 2002. – 212с.
3. Под ред. Н.С. Погожина. Системы физической защиты ядерно-опасных объектов. М.: МИФИ, 2004. – 489 с.
4. 1В.Г. Синилов. Системы охранной, пожарной и охранно – пожарной сигнализации. Учебник для нач. проф. Образования; Учебное пособие для сред. проф. Образования. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 352с.
5. А.В.Петраков,В.С.Лагутин. Телеохрана. Учебное пособие. №-е издание.М.:СОЛОН-Пресс.2004.-408 с.
6. . Гедзберг Ю.М. Охранное телевидение. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 312с.
7. . Р.Г.Магауенов. Системы охранной сигнализации: основы теории и принципы построения. – М.: .: Горячая линия- Телеком, 2004. 354с.
8. Ворона В.А.,Тихонов В.А. Системы контроля и управления доступом. – М.: Горячая линия – Телеком, 2010. – 274с.
9. Федеральный закон РФ «Об использовании атомной энергии» от 21.11.1995 №170-ФЗ [Электронный источник]URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8450/ (дата обращения 07.02.2023).
10. Постановления Правительства РФ "Об утверждении Правил физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов" от 19.07.2007 N 456 [Электронный источник] URL: https://docs.cntd.ru/(дата обращения 07.02.2023).
11. Система сбора и обработки информации — основа оперативного управления производственным процессом [Электронный источник] URL: https://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_06_fobos.html (дата обращения 01.02.2023).

References

1. M. Garcia "Design and evaluation of physical protection systems". Mir Publishing House, Moscow, 2003
2. V.B. Glebov, A.V. Izmailov, A.N. Rumyantsev. Introduction to the systems of accounting, control and physical protection of nuclear materials. - M.: MEPhI, 2002. – 212s.
3. Edited by N.S. Pogozhin. Systems of physical protection of nuclear-hazardous facilities. Moscow: MEPhI, 2004. – 489 p.
4. 1B.G. Sinilov. Security, fire and fire alarm systems. Textbook for the beginning of Prof. Education; Textbook for sred. Prof. Education. – 2nd ed., ster. – M.: Publishing Center "Academy", 2004. – 352s.
5. A.V.Petrakov, V.S.Lagutin. Bodyguard. Study guide. No. 1 edition.Moscow:SOLON-Press.2004.-408 p
6. Gedzberg Yu.M. Security television. – Moscow: Hotline – Telecom, 2005. – 312s.
7. R.G.Magauenov. Burglar alarm systems: fundamentals of theory and principles of construction. – M.: .: Hotline- Telecom, 2004. 354s.
8. Vorona V.A.,Tikhonov V.A. Access control and management systems. – M.: Hotline – Telecom, 2010. - 274s.
9. Federal Law of the Russian Federation "On the Use of Atomic Energy" dated 21.11.1995 No. 170-FZ [Electronic source]URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8450 / (accessed 07.02.2023).
10. Decree of the Government of the Russian Federation "On approval of the Rules for the Physical Protection of Nuclear Materials, Nuclear Installations and Nuclear Materials Storage Facilities" dated 19.07.2007 N 456 [Electronic source] URL: https://docs.cntd.ru /(accessed 07.02.2023).
11. Information collection and processing system — the basis of operational management of the production process [Electronic source] URL: https://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_06_fobos.html (accessed 01.02.2023).

УДК.550.837.3

Модернизация пароводяной эжекторной холодильной машины с целью очистки добавочной воды

С.А. Чупрынин
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33, г. Севастополь, 299053, Россия, e-mail*: chuprynin.sevas@mail.ru*

Статья поступила 10.02.2023 г.; после доработки 13.02.2023 г.

Аннотация
Предложена модернизация паровой эжекторной холодильной машины для использования её при подготовке методом дистилляции воды, которая будет использоваться для нужд энергоблока.

Ключевые слова: водоподготовка, паровая эжекторная холодильная машина, добавочная вода, химобессоленная вода.

Modernization of steam water ejector refrigerating machine for the purpose of purification of additional water

S.A Chuprynin
Sevastopol state University, Sevastopol, 299002 Russia e-mail: chuprynin.sevas@mail.ru)

Received 10.02.2023 y.; received in final form 13.02.2023 y.

Annotation
The modernization of a steam ejector refrigerating machine is proposed for its use in the preparation of water by distillation, which will be used for the needs of the power unit.

Keywords: water treatment, steam ejector refrigerating machine, additional water, chemically desalinated water.

Введение

Опыт эксплуатации реакторов ВВЭР показывает, что даже в нормальных условиях эксплуатации протекают некоторые нежелательные процессы, а именно, коррозия, эрозия, осаждение продуктов коррозии на теплопередающих поверхностях. От химии теплоносителя существенным образом зависит эксплуатационная безопасность реактора. Химическое управление свойствами теплоносителя второго контура базируется на опыте эксплуатации, лабораторных испытаниях, данных по коррозии, а также переносу и осаждению продуктов коррозии в условиях эксплуатации. Одной из ключевых задач усовершенствования водно-химического режима второго контура является предотвращение коррозионных повреждений конструкционных материалов парогенератора и коррозионно-эрозионного износа оборудования и трубопроводов. Необходимо ограничить коррозию при минимальной нагрузке на окружающую среду и, желательно, при снижении эксплуатационных затрат.

Таким образом, приоритетными направлениями совершенствования водно-химического режима второго контура является ограничение миграции продуктов коррозии, состав которых определяется применяемыми конструкционными материалами, а также экономичность экс-

плуатации и совместимость с требованиями экологии, актуальность которых непрерывно возрастает.

Постановка цели и задач научного исследования

На двухконтурных АЭС вода используется в качестве теплоносителя первого контура и рабочего тела второго контура.

Подготовка воды на атомной электростанции является важной и ответственной задачей, так как от качества воды в большой мере зависит надежность и экономичность эксплуатации оборудования. Для повышения эффективности работы основного оборудования, в питательной и добавочной воде, необходимо максимально снижать концентрацию растворенных и взвешенных веществ, а также агрессивных агентов, вызывающих коррозию металла.

При эксплуатации электростанций имеются внутристанционные потери пара и конденсата, которые восполняются добавочной водой.

Требования к качеству добавочной воды, а также производительность водоподготовительных установок электростанций определяются водными балансами и условиями использования воды.

Степень очистки добавочной воды строго нормируется. Исходя из требований СТО 1.1.1.03.004.0979-2014 «Водно-химический режим второго контура атомных электростанций проекта АЭС-2006 при вводе энергоблока в эксплуатацию. Нормы качества рабочей среды и средства их обеспечения», электропроводность химобессоленной воды за последней ступенью обессоливания должна быть не выше 0,3 мкСм/см.

Система обессоливания добавочной воды предназначена для получения обессоленной воды, которая в дальнейшем направляется:

- на заполнение и отмывку первого и второго контуров перед пуском энергоблоков;
- восполнение потерь воды и пара первого и второго контуров при пусках и работе энергоблоков на мощности;
- собственные нужды ХВО, СВО, БОУ;
- электролизную.

Добавочная вода, прошедшая предварительную очистку на установке предварительной очистки, поступает на цепочки обессоливания: сначала на 1-ю ступень, потом на 2-ю ступень обессоливания, затем на фильтры смешанного действия. Для исключения возможности попадания ионообменной смолы в тракт I и II контуров с добавочной водой в случаях нарушения дренажной системы фильтров установлена ловушка зернистых материалов.

Добавочная вода собирается в баки запаса конденсата (БЗК), откуда насосами обес-соленной воды подается для восполнения потерь конденсата в I и II контуре АЭС, а так-же на собственные нужды ХВО, СВО, БОУ.

При обессоливании воды методом ионного обмена пропорционально солесодержанию питающей воды растут объемы ионитов и оборудования, а также расход реагентов, т.е. капитальные и эксплуатационные затраты. Даже при оптимально организованной регенерации с минимальным избытком реагентов в сточные воды поступают извлеченные соли плюс использовавшиеся реагенты. Следует учитывать, что эти соли находятся в небольшом объеме регенератов, соответственно, в высокой концентрации. Регенераты, как правило, имеют кислую реакцию и требуют дополнительной нейтрализации. Прямой сброс таких отходов запрещен. Обычно используется метод разбавления другими стоками. Эксплуатационные расходы практически прямо пропорциональны солесодержанию исходной воды. Количество отходов составляет 5–15 % от количества обессоленной воды, а водопотребление – соответственно, 105–115 % от него.

Помимо ионного обмена, для удаления из воды примесей, находящихся в ионной форме можно использовать метод дистилляции. Дистилляция является наиболее старым и до появления ионного обмена единственным способом очистки воды, его эффективность обусловлена высоким коэффициент очистки ($К_{оч}=10^4$), не требующим затрат реагентов. Очистка воды основана на малой растворимости примесей в паре.

В практике обработки воды дистилляцию проводят, испаряя воду в дистилляторах (испарителях), с последующей конденсацией пара в охладителях (конденсаторах).

К недостаткам следует отнести сложность и высокую стоимость оборудования. Несмотря на это, благодаря высокому коэффициенту очистки и малому объему отходов, дистилляция находит широкое применение.

Каждое помещение АЭС в большей или меньшей степени насыщено тепломеханическим оборудованием. В своем большинстве это оборудование является источником тепло- и влаговыделений. Для поддержания нормальных условий работы персонала и оборудования (температуры, влажности, скорости движения воздуха) необходимо применять системы

кондиционирования воздуха.

Важным элементом системы кондиционирования на АЭС является пароводяная эжекторная холодильная машина (ПВЭХМ). Принципиальная схема простейшей ПВЭХМ представлена на рисунке 1.

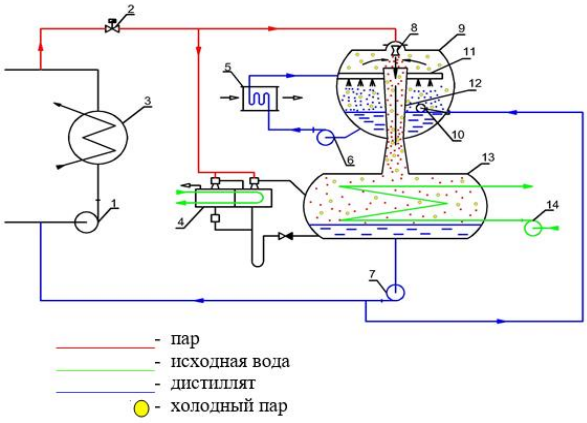


Рис.1. Принципиальная схема простейшей ПВЭХМ

Кроме этого ПВЭХМ предназначена для подачи охлаждающей воды к следующим потребителям:

1. теплообменники систем дожигания водорода и спецгазоочистки РО;
2. воздухоохладители возбудителя и выпрямителя ТГ;
3. теплообменники системы радиационного контроля сетевой воды;
4. теплообменники промконтура охлаждения проб.

Действие ПЭХМ основано на охлаждении воды при её частичном испарении в процессе кипения в условиях глубокого вакуума. При этом кипящая вода отдает скрытую теплоту парообразования образующемуся «холодному пару» и самоохлаждается до температуры насыщения этого пара. Пример: при p = 100 кПа вода кипит при t = +100 ^{0}C, при p = 0,8 кПа вода кипит при t = +4 ^{0}C.

Главный эжектор 12 предназначен для поддержания глубокого вакуума в испарителе 9 и сжатия смеси рабочего и холодного пара от давления в испарителе до давления в конденсаторе. Рабочий пар подается к соплу главного эжектора 8 от паропроизводящей установки 3. В сопле 8 он расширяется, его скорость возрастает до v ≈ 1200 м/с, при этом струя рабочего пара увлекает холодный пар из испарителя и смешивается с ним. В диффузоре давление смеси повышается в 4…7 раз (скорость падает). Рабочая вода (хладоноситель), отобрав тепло от потребителей в воздухоохладителях СКВ, нагревается и возвращается в испаритель через разбрызгивающие устройство 11 в виде множества отдельных струек, что позволяет существенно увеличить поверхность испарения. В испарителе главным эжектором поддерживается давление p ≈ 1,4 кПа (абс.), которому соответствует температура насыщения t = +10 ^{0}C. Из разбрызгивающего устройства вода поступает с более высокой температурой, т.е. она является перегретой по отношению к температуре насыщения в испарителе. Поэтому, часть рабочей воды (3÷4 %) в испарителе интенсивно испаряется в процессе кипения. Корпус испарителя имеет теплоизоляцию, кипение происходит за счет перегрева воды. Кипящая вода отдает скрытую теплоту парообразования образующемуся холод-ному пару и самоохлаждается до температуры насыщения. Таким образом, в ПВЭХМ вода является и холодильным агентом и хладоносителем.

Смесь рабочего и холодного пара поступает в конденсатор 13, где осуществляется конденсация пара в процессе интенсивного отвода тепла во внешнюю сред охлаждающей водой.

Охлаждающей водой является вода системы неответственных потребителей, прошедшая механическую очистку на фильтрах береговой насосной станции и механических фильтрах ФС-600 машинного зала.

Конденсат холодного пара возвращается в испаритель конденсатным насосом 7 через дроссельный поплавковый клапан 10.

Для расширения функций ПВЭХМ предлагается модернизировать существующую холодильную установку с целью очистки воды методом дистилляции, которая будет использоваться для нужд энергоблока.

Предлагается использовать испаритель модернизированной ПВЭХМ в режиме вакуумного дистилляционного опреснителя.

Таким образом, в процессе образования холодного пара реализовать дистилляционный метод очистки исходной воды.

Результаты научного исследования

В модернизированной установки подпитка испарителя осуществляется не конденсатом, отобранным с напора конденсатного насоса, а охлаждающей водой конденсатора.

Работа установки принципиально не меняется. Насос рабочей воды забирает из испарителя

«сырую» (исходную) воду и прокачивает ее через воздухоохладитель системы кондиционирования воздуха.

В воздухоохладителе вода нагревается и через разбрызгивающее устройство возвращается в испаритель. Перегретая вода кипит. 3-4 % воды, получив скрытую теплоту парообразования, превращается в холодный пар и главным эжектором отводится в конденсатор. Большая часть воды, отдавая теплоту, охлаждается до температуры насыщения в испарителе. Холодный пар в составе смеси конденсируется в конденсаторе ПВЭХМ.

Помимо перевода подпитки испарителя ПВЭХМ на «сырую» (исходную) воду, в схеме, модернизированной ПВЭХМ добавлены:

- линия отвода очищенной воды с напора конденсатного насоса в бак запаса дистиллята;
- линия продувки рассола.

Таким образом, в процессе образования холодного пара реализуется дистилляционный метод очистки исходной воды.

Схема модернизированной ПВЭХМ представлена на рисунке 2.

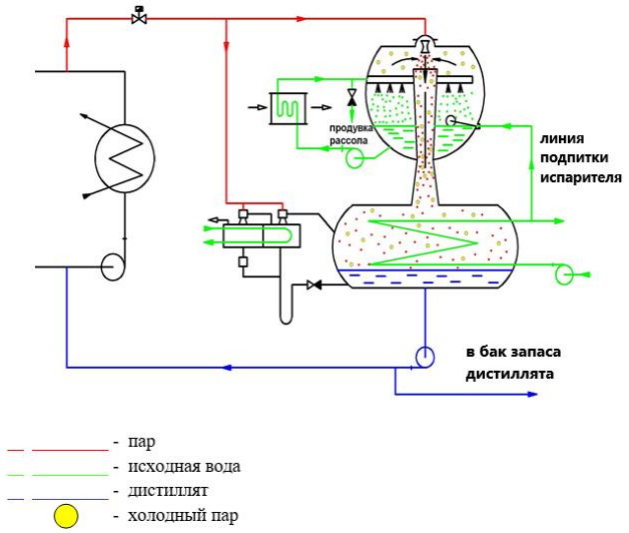


Рис. 2. Принципиальная схема модернизированной ПВЭХМ

Производительность «ПВЭХМ – ОПРЕСНИТЕЛЬ», по очищенной воде, равна расходу холодного пара поступающего в составе паровой смеси в конденсатор ПВЭХМ. Расход холодного пара, поступающего в конденсатор, будет зависеть от холодопроизводительности ПВЭХМ.

В состав вспомогательного оборудования каждого энергоблока АЭС с турбоагрегатами К-1000-60/3000, К-1000-60/1500-1(2,2-м) входят 3 ПВЭХМ марок: 16-э, 17-э.

Холодопроизводительность ПВЭХМ при проектной температуре охлажденной воды составляет:16-э Q = 1785 кВт; 17-э Q = 698 кВт.

При этой холодопроизводительности, производительность очищенной воды (равна расходу «холодного» пара) составит:16э – 2,36 т/ч; 17э – 1,01 т/ч.

За сутки работы производительность «ПВЭХМ-ОПРЕСНИТЕЛЯ» составит:16э – 56,6 т.; 17э – 24,2 т.

Поскольку, опреснение осуществляется при относительно низких температурах ($t \approx +11^0C$) - это позволяет полностью исключить процессы накипеобразования.

Заключение

Модернизация ПВЭХМ:

1. Позволит получить дополнительную функцию установки - очистка исходной воды методом дистилляции, без ухудшения рабочих характеристик ПВЭХМ при работе в основном режиме, что позволит снизить стоимость очищенной воды;
2. Не требует больших материальных вложений и существенных изменений в схемах существующих систем, так как для опреснения используется штатная ПВЭХМ со своим вспомогательным оборудованием;
3. Не требует переквалификации обслуживающего и ремонтного персонала;
4. Позволит уменьшить нагрузку на штатные водоподготовительные установки.

Данную модернизацию ПВЭХМ можно осуществить на судовых холодильных установках, где не менее остро стоит вопрос очистки воды.

Для повышения качества очищенной воды могут быть разработаны и внедрены сепарационные устройства, позволяющие снизить влажность холодного пара, отсасываемого главным эжектором. Это позволит снизить загрязнение очищенной воды, т.к. уменьшится капельный унос из исходной воды.

Список литературы

1. Водоподготовка: Справочник. / Под редакцией. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова. М.: Аква–Терм, 2007. – 240 с.
2. Громогласов А.А. Водоподготовка: Процессы и аппараты: учебное пособие для вузов/ А.А. Громогласов, А.С. Копылов А.П., А.П. Пильщиков: под редакцией О.И. Мартиновой. – Москва: Энергоатомиздат, 1990 – 272 с.
3. Семенова И.В. Промышленная экология: учебное пособие для студентов высших учебных заведений/ И.В. Семенова. – М.: Издательский

центр «Академия», 2009. – 528 с.
4. Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов/А.С. Копылов, В.М.Лавыгин, В.Ф. Очков. М: Издательский дом МЭИ, 2016. – 310 с.

References

1. Water treatment: A reference book. / Edited by S. E. Belikov, Doctor of Technical Sciences, full member of the Academy of Industrial Ecology, Moscow: Aqua-Term, 2007, 240 p.
2. Gromoglasov A. A. Water treatment: Processes and apparatuses: a textbook for universities / A. A. Gromoglasov, A. S. Kopylov A. P., A. P. Pilshchikov: edited by O. I. Martynova. - Moscow: Energoatomizdat, 1990-272 p.
3. Semenova I. V. Industrial ecology: a textbook for students of higher educational institutions/ I. V. Semenova. - M.: Publishing center "Academy", 2009. - 528 p.
4. Kopylov A. S., Lavygin V. M., Ochok V. F. Vodopodgotovka v energetike [Electronic resource]: textbook for universities/A. S. Kopylov, V. M. Lavygin, V. F. Ochok. Moscow: MEI Publishing House, 2016. - 310 p.

УДК 621.039.516

Выбор режимных параметров для реакторов ВВЭР

В.В. Шаповаленко[1]
[1]*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33 г.Севастополь, 299053, Россия,* [1]shapovalenkovita@rambler.ru

Статья поступила 17.01.2023 г.; после доработки 19.01.2023 г.

Аннотация

Рассмотрены основные проблемы выбора режимных параметров для водо-водяного реактора под давлением: температуры теплоносителя на входе и выходе из активной зоны, давления теплоносителя в реакторе. Определена связь режимных параметров первого и второго контура.

Ключевые слова: давление и температура теплоносителя, температура и давление рабочей среды, температурный напор в парогенераторе, водо-водяной реактор под давлением, парогенератор.

Selection of operating parameters for VVER reactors

V.V.Shapovalenko[1]
Sevastopol stat university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia,
[1]shapovalenkovita@rambler.ru

Received 17.01.2023 y. .; received in final form 19.01.2023 y.

Abstract

The main problems of choosing the operating parameters for a pressurized water-water reactor are considered: the temperature of the coolant at the inlet and outlet of the core, the pressure of the coolant in the reactor. The relationship of the operating parameters of the first and second circuits is determined.

Keywords: pressure and temperature of the coolant, temperature and pressure of the working medium, temperature pressure in the steam generator, pressurized water-water reactor, steam generator.

Введение

От значений параметров теплоносителя существенно зависят такие важные показатели ядерной энергетической установки (ЯЭУ), как её надёжность, безопасность, маневренность, поэтому выбор параметров теплоносителя является сложной комплексной и весьма ответственной задачей.

Для её решения на начальной стадии проектирования обычно ведут многовариантные расчёты. В дальнейшую разработку ЯЭУ АЭС принимают тот вариант сочетания параметров, который наиболее полно отвечает требованиям, предъявленным к ЯЭУ по надежности и безопасности эксплуатации установки, даёт приемлемые технико-экономические показатели при наименьшей себестоимости получаемой электроэнергии.

При этом учитывают также возможности промышленности по созданию ЯЭУ - освоенность и стоимость конструкционных материалов, освоенность и стоимость изготовления агрегатов, т.е. капитальные затраты на создание АЭС, что существенно влияет на стоимость электроэнергии.

Цель и постановка задачи

Рассмотрены основные проблемы выбора режимных параметров для водо-водяного реактора под давлением: температуры теплоносителя на входе и выходе из активной зоны, давления теплоносителя в реакторе.

Проанализировано взаимное влияние выбора режимных параметров работы ядерного реактора на работу парогенератора, выбор давления рабочей среды, температурный напор.

Выбор давления теплоносителя [2]

В двухконтурных ЯЭУ с реакторами некипящего типа в качестве теплоносителя используется вода под давлением. Выбор типа реактора в соответствии с его назначением (энергетический реактор в составе паротурбинной ЯЭУ) в значительной мере предопределяет выбор номинального давления в нём.

Главное устремление конструкторов – создать экономичную ЯЭУ. В паротурбинном цикле Ренкина главным определяющим параметром экономичности (КПД) является температура подаваемого на турбину пара: чем она выше – тем выше КПД цикла. Но источником тепловой мощности для парогенератора служит теплоноситель первого контура, - значит, температура теплоносителя, подаваемого в ПГ с выхода из реактора, должна быть ещё выше, и чем она выше – тем до больших температур можно нагреть пар в ПГ, и тем выше экономичность цикла ЯЭУ. Но выше температуры насыщения (t_s) при выбранном давлении воду в реакторе не нагреть (тем более, что реактор – не кипящий), следовательно, единственный путь повышения температуры теплоносителя в реакторе - повышать температуру насыщения t_s, что возможно только за счёт повышения давления теплоносителя $p_{т.}$, именно давление воды определяет величину температуры насыщения.

Но ВВЭР – реактор корпусной, его корпус – сосуд, работающий под большим давлением, и чем выше давление – тем толще должны быть его стенки для обеспечения прочностных свойств корпуса при работе в тяжёлых условиях (высокие температуры, интенсивное воздействие жёсткого γ-излучения), причём срок службы корпуса должен составлять не менее 30 лет. Для современных проектов с реакторами ВВЭР проектный срок эксплуатации для корпуса реактора устанавливается 60 лет.

К тому же, чем толще стенка корпуса реактора, тем выше перепад температур между внутренней и наружной поверхностью стенки корпуса, соответственно выше термические напряжения в стенке корпуса, что негативно сказывается на работе металла.

Кроме того, необходимо учесть, что корпус изготавливается из перлитной стали, а на его внутреннюю поверхность наносится наплавка из аустенитной нержавеющей стали, для защиты основного металла корпуса реактора от коррозионного воздействия водного теплоносителя.

По сравнению с нержавеющими сталями аустенитного класса, перлитные стали обладают рядом преимуществ - в частности, у них выше прочностные свойства и теплопроводность, они слабо подвержены радиационному распуханию, свойства перлитных сталей почти не изменяются при температуре 240 - 450 °С.

К преимуществам эксплуатации аустенитных сталей можно отнести низкий порог хладноломкости – около 196 °С, устойчивость к коррозии, высокие температуры нагрева.

Однако при высокотемпературном облучении, при значении флюенса быстрых нейтронов около $3 \cdot 10^{23}$ нейтрон/см^2 с энергией более 0,5 МэВ, аустенитные стали испытывают радиационное распухание до 3-5%. Максимально этот эффект проявляется при температуре свыше 350 °С, что ограничивает максимальную температуру нагрева теплоносителя в активной зоне реактора.

Металлоёмкость и долговременная прочность корпуса реактора и трубопроводов первого контура вынуждает отказаться от выбора больших давлений и ограничиться давлениями до 20 МПа для небольших (транспортных) реакторов и до 18 МПа – для мощных стационарных реакторов АЭС.

К этому добавляется наличие значительной неравномерности нейтронного потока между центром и периферией активной зоны, в связи с чем вводится величина интегрального запаса теплоносителя до кипения в диапазоне от 20÷25 °С. При стремлении увеличить температуру теплоносителя на выходе из активной зоны реактора, снижают величину интегрального запаса теплоносителя до кипения, это возможно только при условии выполнения всех требований теплотехнической надежности активной зоны. Следует помнить что, чем ближе температура на выходе из активной зоны к величине t_s, тем ниже величина недогрева до насыщения Δt_s и тем ниже величина запаса до кризиса теплоотдачи.

Кроме того, чем выше давление теплоносителя в первом контуре, тем ниже величина критической тепловой нагрузки, при которой наступает кризис теплоотдачи первого рода. Для повышения теплотехнической надежности активной зоны следует выбирать повышенные значения критической тепловой нагрузки, это позволит несколько увеличить величину тепловой нагрузки и соответственно повысить мощность

реакторной установки.

Исходя из вышеизложенного при заданном интегральном запасе до насыщения в 20 °С при выборе $p_т$ = 15, 16, 17 или 18 МПа можно надеяться получить температуры теплоносителя на выходе из активной зоны соответственно 322, 327, 332 или 336 °С.

Выбор давления в первом контуре зависит от выбора материалов, используемых в активной зоне реактора, а именно от выбора материала оболочки тепловыделяющего элемента. Если оболочки твэлов выполнены из циркониевого сплава, который в воде при интенсивном нейтронном облучении устойчив против коррозии при температуре до 350 °С, то нет смысла повышать давление теплоносителя выше давления насыщения, соответствующего предельно допустимой температуре оболочки (p_s при t_s = 350 °С составляет 16,5 МПа).

Если материал оболочки твэлов нержавеющая сталь, которая в воде при длительном γ- и нейтронном облучении допускает температуру до 400 °С, то имеет смысл выбирать интегральный запас до насыщения минимальным (на основании опыта эксплуатации лучших образцов существующих ВВЭР).

По опытным данным для реакторов типа ВВЭР ранее диапазон оптимальных давлений теплоносителя считался 14÷16 МПа.

Из сопоставления параметров ЯЭУ, созданных за последние два десятилетия, можно заметить тенденцию к повышению давления теплоносителя. Для проекта ВВЭР-1000 давление теплоносителя в первом контуре 15,7 МПа, для ВВЭР-1200 давление теплоносителя в первом контуре принято 16,2 МПа.

Выбор температуры теплоносителя [2]

Уже отмечено, что температуру теплоносителя на выходе из реактора tт2 следует выбирать возможно большей. Увеличение температуры tт2 при прочих равных условиях позволяет увеличить температуру пара в парогенераторе и, следовательно, увеличить экономичность ЯЭУ. К тому же, увеличение tт2 позволяет при сохранении умеренных значений температуры пара увеличить температурный напор Δtпг в парогенераторе и, благодаря этому, улучшить его массогабаритные показатели.

При увеличении давления и температур теплоносителя в первом контуре, коэффициент теплопередачи в парогенераторе увеличивается, площадь теплообменной поверхности уменьшается. При повышении давления рабочей среды, коэффициент теплопередачи в парогенераторе увеличивается, а температурный напор Δtпг, уменьшается, а так как изменение температурного напора в парогенераторе оказывает большее влияние, площадь теплообменной поверхности парогенератора увеличивается.

При уменьшении температурного напора в ядерном реакторе Δtяр, при фиксированной температуре теплоносителя на выходе из реактора, увеличивается температурный напор в парогенераторе Δtпг, что позволяет уменьшить площадь поверхности нагрева парогенератора.

Можно поступить иначе, уменьшить величину температурного напора в ядерном реакторе Δtяр, при этом не изменять температурный напор в парогенераторе Δtпг, это даст возможность увеличить температуру пара и давление рабочей среды в парогенераторе.

Чаще всего давление теплоносителя принимают соответствующим предельным по температурному режиму возможностям материала оболочки твэлов. В этом случае предельно возможное значение температуры теплоносителя на выходе из ядерного реактора определяется принятым давлением в контуре, а также компоновкой, нейтронно-физическими, гидродинамическими и теплофизическими характеристиками активной зоны ядерного реактора.

Температура теплоносителя на выходе из реактора tт2 принимается ниже температуры насыщения на величину интегрального запаса до насыщения. При выборе значения Δts учитывается следующее.

Температура теплоносителя на выходе из ядерного реактора складывается в результате смешения теплоносителя, прошедшего через все ТВС активной зоны, а также через каналы перетечек.

В реакторе в силу неравномерности нейтронного поля по радиусу активной зоны имеет место неодинаковость мощностей отдельных ТВС. В то же время, кипение теплоносителя должно быть исключено во всех каналах активной зоны, в том числе и в самых теплонапряжённых, где теплоноситель нагревается до более высоких температур. Зональное профилирование расхода теплоносителя по группам ТВС активной зоны с различным тепловыделением может лишь несколько снизить остроту вопроса, но не снимает его полностью, так как внутри таких зон всё же имеет место неравномерность тепловыделений. Эта неравномерность должна быть учтена

выбором надлежащего значения интегрального запаса до насыщения.

Для снижения Δts (а, значит, увеличения тт2) принимают меры по уменьшению неравномерности нейтронного поля по радиусу активной зоны. С этой целью предусматривают профилирование обогащения топлива по радиусу активной зоны, перестановку ТВС в активной зоне на протяжении кампании, раздельное управление по зонам реактора регулирующими стержнями. Благодаря этому в настоящее время удаётся снизить коэффициент радиальной неравномерности нейтронного поля до kR = 1.2÷1.4.

Аналогичным образом учитывают также перетечки помимо активной зоны, т.е. расход воды через различного рода специальные каналы (например, каналы измерителей температуры), через неплотности в сборке конструкций активной зоны, где нагрев воды значительно ниже. Учёт этих факторов выражается некоторым дополнительным увеличением Δts.

На величину принимаемого в расчёт значения Δts оказывают также влияние возможные погрешности при создании и эксплуатации паропроизводящей установки.

Возможные неточности расчёта температурного режима активной зоны (расчётные схемы, расчётные зависимости, исходные данные и др.), неточности изготовления и монтажа активной зоны (допуски на изготовление деталей, неточность расположения топлива и поглотителей нейтронов и др.), неточности соблюдения условий эксплуатации (погрешности контролирующих приборов, неточное поддержание частоты вращения насосов, диапазон нечувствительности регуляторов, возможные эксплуатационные отклонения давления в первом контуре и мощности реактора и др.) также требуют дополнительного увеличения принятого в расчёт значения Δt_s.

Для сравнения [3]:

- реактор ВВЭР-440 (p = 12,5 МПа)

$\Delta t_s = t_s(p) - t_{т2} = 326{,}27 – 300 = 26{,}27$ °С;

- реактор ВВЭР-1000 (p = 16,0 МПа)

$\Delta t_s = t_s(p) - t_{т2} = 345{,}74 – 324 = 21{,}74$ °С.

Величина интегрального запаса до насыщения, впрочем, является скорее оценочной (на основании опыта уже созданных реакторов) и не нормируется никакими документами. Поэтому, если на стадии эскизного проектирования предполагается принятие известных мер по выравниванию поля тепловыделения, интенсификации теплообмена, использованию более совершенных материалов, применению противокризисных мер, то имеет смысл снизить величину интегрального запаса ниже 20 °С в надежде, что в дальнейшем (при детальных проработках) удастся доказать, что теплотехническая надежность активной зоны при этом гарантированно обеспечивается в течение заданной кампании.

Температура воды на входе в реактор $t_{т1}$ - разность между температурой её на выходе из реактора $t_{т2}$ и подогревом теплоносителя в активной зоне $\Delta t_т$, т.е. $t_{т1} = t_{т2} – \Delta t_{яр}$.

Выбор номинального подогрева обусловлен двумя конкурирующими обстоятельствами. С одной стороны, увеличение подогрева при заданной мощности реактора позволяет снизить величину потребного для обеспечения теплосъёма в активной зоне расхода теплоносителя, снизить гидравлическое сопротивление первого контура, а, значит, снизить затраты мощности ГЦН на циркуляцию теплоносителя.

С другой стороны, уменьшение $\Delta t_{яр}$ ведёт к снижению температурных напряжений в толстостенных металлоконструкциях корпуса реактора и внутрикорпусных деталей, включая и твэлы активной зоны, и, таким образом, увеличивает надежность паропроизводящей установки. Это особенно важно для реакторов большой мощности, где корпуса имеют большие толщины стенок.

Кроме того, уменьшение $\Delta t_{яр}$, при фиксированной температуре теплоносителя на выходе из реактора увеличивает среднюю температуру теплоносителя в реакторе, а, значит, и температурный напор теплопередачи в парогенераторе, благодаря чему могут быть уменьшены теплопередающая поверхность и габариты парогенератора.

Для стационарной ЯЭУ на насыщенном паре, в которой применён парогенератор с неявно выраженной экономайзерной зоной, температура теплоносителя на входе в реактор может рассматриваться как фактор, ограничивающий температуру кипения рабочего тела в парогенераторе и, следовательно, давление свежего пара. В этом случае уменьшение $\Delta t_{яр}$ позволит при прочих равных условиях несколько увеличить температуру и давление пара.

Однако, при выборе величины $\Delta t_{яр}$ следует иметь в виду, что она однозначно определяется расходом теплоносителя через реактор $G_т$, и уменьшение $\Delta t_{яр}$ может быть обеспечено только пропорциональным увеличением $G_т$. Увеличение же расхода теплоносителя при фиксированных геометрических и гидродинамических параметрах первого контура может быть осуществ-

лено только при значительном увеличении давления насоса – по гидравлической характеристике первого контура пропорционально квадрату увеличения расхода жидкости.

В результате резко увеличивается мощность насоса – примерно пропорционально кубу расхода теплоносителя:

$N_{гцн} = \Delta p \cdot G_{гцн} \cdot v/(m \cdot \eta_{гцн)} \approx A \cdot G_{гцн}^3$, Вт (1)

где Δp – гидравлические потери давления в первом контуре, Па;

$G_{гцн}$ – расход теплоносителя в реакторе, кг/с;

v – удельный объем при температуре теплоносителя на входе в реактор, $м^3/кг$;

$\eta_{гцн}$ – КПД ГЦ;

m – число петель первого контура, шт.

Если же имеется возможность уменьшить гидравлические сопротивления трассы первого контура (сокращением длины трассы, увеличением количества параллельных ветвей, уменьшением местных сопротивлений и пр.), то можно увеличить расход теплоносителя при приемлемых значениях мощности циркуляционного насоса первого контура (ГЦН).

Мощность ГЦН составляет заметную величину в балансе энергий – 0,6...0,9% тепловой мощности реактора. Поэтому за счёт её снижения можно несколько увеличить КПД установки. Но уменьшение мощности ГЦН нецелесообразно доводить до уровня, когда увеличение $\Delta t_т$ заметно отрицательно скажется на параметрах пара и, таким образом, на КПД установки.

Оптимальное значение $\Delta t_т$ может находиться в достаточно широких пределах – от 30 до 40 °С. Оптимум $\Delta t_т$ существенно зависит от компоновки паропроизводящей установки и её составных элементов, от параметров теплоносителя и рабочего тела. Он может быть найден только в результате тщательных технико-экономических расчётов. На эскизной стадии проектирования ЯЭУ при выборе значения $\Delta t_т$ следует ориентироваться на параметры близкого по компоновке реактора.

Для сравнения [3]:

- в ВВЭР-440: $\Delta t_{яр} = t_{т1} - t_{т2} = 300 - 269 = 31$ °С;
- в ВВЭР-1000: $\Delta t_{яр} = t_{т1} - t_{т2} = 324 - 292 = 32$ °С.

При исследованиях температурного поля активной зоны ядерного реактора на различных режимах работы, а также в практике эксплуатации ЯЭУ широко используется понятие средней температуры теплоносителя $t_{т.ср.}$ Так как $t_{т.ср}$ непосредственно влияет на реактивность ядерного реактора, то его величину определяют как средневзвешенную в активной зоне. При $\Delta t_т < 40$ °С средневзвешенная температура теплоносителя мало отличается от среднеарифметической $t_{т.ср} = (t_{т2} + t_{т1})/2$.

Заключение

Таким образом, выбор параметров теплоносителя в активной зоне реактора сильно зависит от конструкционных материалов, и определяет КПД ЯЭУ и экономических показателей энергоблока.

Хотя при нынешних технологиях больших изменений режимных параметров не происходило, но по мере накопления экспериментального и производственного опыта и совершенствования расчётных методик наблюдается тенденция эволюционного роста их значений.

Список литературы

1. Мерзликин Г.Я. Основы теории ядерных реакторов / Г.Я. Мерзликин – Севастополь: СИЯЭиП, 2002. - 452
2. Шаповаленко В.В. Теплогидравлический расчет ядерных реакторов / В.В.Шаповаленко – Севастополь: СевГУ, 2019. - 204
3. С.В.Широков Ядерные энергетические реакторы.-Киев.: Киевский политехнический институт, 1997. - 235

References

1. Merzlikin G.Ya. Fundamentals of the theory of nuclear reactors / G.Ya. Merzlikin – Sevastopol: SIAEiP, 2002. - 452
2. Shapovalenko V.V. Thermohydraulic calculation of nuclear reactors / V.V.Shapovalenko – Sevastopol: SevSU, 2019. - 204
3. S.V.Shirokov Nuclear power reactors.-Kiev.: Kiev Polytechnic Institute, 1997. - 235

УДК 621.039.53

Сравнение двух проектов водо-водяных реакторов под давлением китайский реактор «Hualong One-1000» и российский реактор ВВЭР-1200

В.В. Шаповаленко[1],
[1]*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33 г.Севастополь, 299053, Россия,* [1]shapovalenkovita@rambler.ru,

статья поступила 06.02.2023 г. ; после доработки 08.02.2023 г.

Аннотация

Проведен сравнительный анализ двух конкурирующих проектов с водо-водяными реакторами под давлением реактора «Hualong One» и реактора ВВЭР-1200. Для проектов выполнен анализ компоновки оборудования реакторного отделения, характеристики активной зоны, рассмотрены системы безопасности, используемые в проектах. Проанализированы конструктивные решения проекта «Hualong One», делающие его конкурентноспособным среди проектов водо-водяных реакторов 3 поколения.

Ключевые слова: водо-водяной реактор под давлением, ВВЭР-1200, китайский реактор «Hualong One», теплоноситель, давление, мощность реактора, циркуляционный насос, парогенератор, тепловыделяющая сборка, системы безопасности АЭС.

Comparison of two projects of pressurized water-water reactors Chinese reactor "Hualong One-1000" and Russian reactor VVER-1200

V.V.Shapovalenko[1]
Sevastopol stat university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia,
[1]shapovalenkovita@rambler.ru,

Received 06.02.2023y. .; received in final form 08.02.2023 y.

Abstract

A comparative analysis of two competing projects with pressurized water-water reactors of the Hualong One reactor and the VVER-1200 reactor was carried out. For the projects, an analysis of the layout of the reactor compartment equipment, the characteristics of the core, and the safety systems used in the projects are considered. The constructive solutions of the Hualong One project, which make it competitive among the projects of water-water reactors of the third generation, are analyzed.

Keywords: pressurized water-water reactor, VVER-1200, Chinese reactor "Hualong One", coolant, pressure, reactor power, circulation pump, steam generator, fuel assembly, NPP safety systems.

Введение

Китай становится основным конкурентом среди стран-монополистов на мировом рынке ядерных технологий, таких как США, Франция, Россия. Благодаря значительным капиталовложениям в развитие ядерной отрасли Китай смог добиться значительных результатов.

Страна активно строит внутри страны и за рубежом атомные станции. На сегодняшний

день в Китае эксплуатируются 50 атомных энергоблоков на 17 атомных электростанциях, в планах строительство еще 16 энергоблоков, заключены соглашения со многими зарубежными странами о строительстве новых проектов ядерных реакторов собственного дизайна.

Кроме того, в рамках сотрудничества с Россией, Китаем была приобретена и освоена технология строительства и эксплуатация реакторов на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем, построен завод по обогащению топлива, на площадке Тяньваньской атомной станции, где Россией было построено несколько энергоблоков с реакторами ВВЭР-1000, получен практический опыт эксплуатации водо-водяных реакторов под давлением.

В целом Россией на площадке АЭС «Тяньвань» был сооружен и введен в эксплуатацию в 2007 году энергоблок № 1 и № 2, в 2016 году завершилось строительство энергоблоков № 3 и № 4. В рамках соглашения, подписанного 7 марта 2019 года в Пекине, Россия будет строить также энергоблоки № 7 и № 8 АЭС «Тяньвань» и ведёт подготовку технического проекта на сооружение блоков № 3 и № 4 АЭС «Сюйдапу» в Ляонине. Дополнительно заключён российско-китайский контракт на поставку в Китай ядерного топлива.

Таким образом, капиталовложения Китая в научные исследования в область ядерной энергетики и приобретение имеющихся хорошо отработанных ядерных технологий позволили Китаю создать свой собственный проект водо-водяного реактора под давлением под названием «Hualong One» с электрической мощностью в 1150 МВт и тепловой мощностью 3050 МВт, а также презентовать новую разработку - реактор «Guohe One» «Гохэ-1», он же CAP-1400 электрической мощностью 1400 МВт.

Проект китайского реактора «Hualong One» конечно же не был создан с нуля, в его основе лежит объединенный проект ACP-1000 и ACPR-1000, являющийся модернизацией французского водо-водяного реактора под давлением M310 с электрической мощностью 900 МВт и тремя контурами циркуляции теплоносителя в первом контуре.

Однако с китайской стороны в проект «Hualong One» привнесено много своих инновационных решений и разработок, что дало право лицензировать его как китайский реактор.

Китайские СМИ сообщают, что всё основное оборудование для проекта «Hualong One-1000» было произведено в Китае, а процент отечественных деталей во всем оборудовании достигает 88%. Проект включает более 716 внутригосударственных патентов, 125 авторских прав на программное обеспечение, более 1500 отчетов о ключевых научных исследованиях.

Под строящиеся проекты реакторов в Китае был создан целый комплекс предприятий, научных центров, разработаны новые месторождения, увеличены объемы добычи урановой руды и создано собственное производство ядерного топлива.

Подведя итог, можно сказать следующее, Китай сегодня во многих областях ядерной энергетики стал независимым от зарубежных поставщиков, а с предлагаемой концепцией реактора «Hualong One» стал главным конкурентом на мировом рынке ядерных технологий не только для Франции и США, но и для России.

В Китае на сегодняшний день реактор «Hualong One» строится в объеме [2]:

- 2 энергоблока на АЭС «Чанцзян»;
- 2 энерголока на АЭС «Тайпинлин»;
- 2 энергоблока «Чжанчжоу»;
- 1 энергоблок на АЭС «Луфен»;
- 2 энергоблока на АЭС «Саньао»;
- 2 энергоблока на АЭС «Фанченганг».

В китайской провинции Фуцзянь введены в эксплуатацию 2 энергоблока на АЭС «Фуцин» в 2020 и 2022г.

В Пакистане построены два энергоблока «Hualong One» и введены в эксплуатацию на АЭС «Карачи» в 2021 и 2022г.

Китайские энергетики подписали соглашения на поставку реакторов «Hualong One» в такие страны, как Саудовская Аравия, Аргентина, Кения.

Имеется договоренность о том, что китайская энергетическая компания China General Nuclear Power Corporation построит китайский реактор «Hualong One» (HPR-1000) в Великобритании на АЭС в Брадуэлле.

Цель и постановка задачи

Выполнить сравнительный анализ конструктивных решений двух проектов китайского реактора «Hualong One-1000» и российского реактора ВВЭР-1200. Выявить конкурентные преимущества проектов.

Основные характеристики проекта «Hualong One-1000»

Реактор «Hualong One» сокращенно HPR - 1000 или «Китайский дракон» является первой

полностью китайской реакторной технологией с независимым собственным циклом его производства.

В создании Китайского реактора «Hualong One» участвовали - компания China General Nuclear Power Group (CGN) и Китайская национальная ядерная корпорация (CNNC) по заказу Национальной энергетической администрации (NEA).

Для строительства пятого энергоблока на площадке АЭС «Фуцин» был выбран новейший проект реактора «Hualong One». Это был первый реактор, построенный по этому проекту. Его строительство началось в 2015 году, а подключение к энергосети состоялось в 2021 году.

Тепловая мощность реактора «Hualong One» составляет 3050 МВт. Проектная номинальная электрическая мощность - 1100 МВт, в некоторых источниках указывают 1150 МВт.

При двухконтурной тепловой схеме АЭС имеет в первом контуре три контура циркуляции теплоносителя, в каждом из которых находится по одному ГЦН и парогенератору с вертикальным расположением корпуса.

Компоновка основного оборудования первого контура проекта «Hualong One» представлена на рисунке 1.

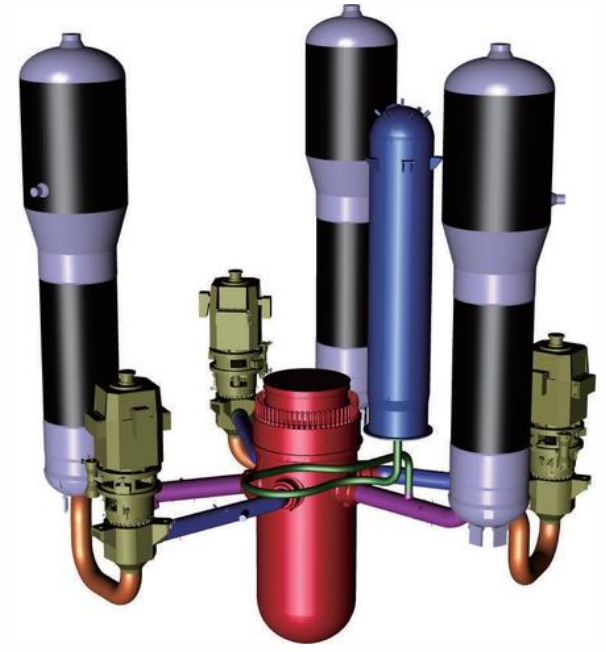


Рис.1. Компоновка основного оборудования первого контура в проекте «Hualong One»

Конструкция вертикального парогенератора для проекта «Hualong One» представлена на рисунке 2.

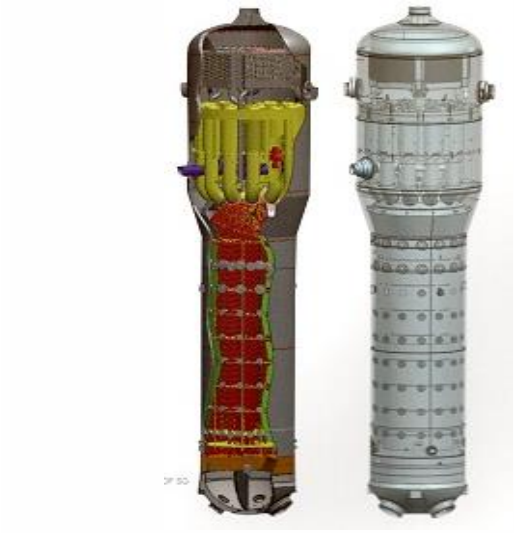


Рис.2. Конструкция вертикального парогенератора для проекта РУ «Hualong One»

Характеристики парогенератора проекта «Hualong One» представлены в таблице 1.

Таблица 1. *Характеристики парогенератора HPR-1000*

Характеристика	Значение
Скорость расхода пара, $м^3/ч$	2039
Влажность на выходе, %	<0,25
Давление на выходе из ПГ, МПа	6,80
Температура питательной воды, ^oC	226
Площадь поверхности теплообмена, $м^2$	6494

Парогенератор предназначен для генерации сухого насыщенного пара с влажностью не более x < 0,25%.

Конструкция парогенератора выбрана типовая, аналогично той, которая используется в реакторах PWR: вертикальное расположение корпуса с вертикальным расположением U-образных теплообменных трубок с заделкой концов труб в горизонтальные трубные доски.

В верхней части парогенератора расположены две системы сепарации пара: циклоны с центробежным способом отделения влаги от пара, а над ними сепараторы жалюзийного типа.

Подвод питательной воды осуществляется через систему подачи основной питательной воды, расположенную над теплообменной поверхностью с подачей питательной воды сверху вниз в полость, организованную внутренней поверхностью корпуса парогенератора и чехлом, ограничивающим теплообменную поверхность.

Что позволяет конструкционно отделить экономайзерный участок от испарительного участка нагрева рабочей среды [3].

Циркуляцию теплоносителя через активную зону обеспечивают мощные циркуляционные насосы в количестве трех штук, каждый с подачей 23790 м^3/ч. Эскиз конструкции ГЦН представлен на рисунке 3.

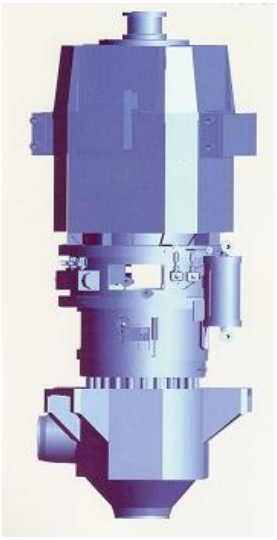


Рис.3. Главный циркуляционный насос первого контура реактора «Hualong One»

Основные характеристики реакторной установки «Hualong One» (HPR -1000):

- Тепловая мощность реактора «Hualong One» составляет 3050 МВт, электрическая – 1150 МВт.
- Расчётное давление (design pressure) составляет 17,3 МПа. Рабочее давление (operating pressure) - 15,5 МПа.
- Входная температура теплоносителя 291,5°С, выходная - 328,5 °С, средняя температура теплоносителя в активной зоне реактора – 310 °С.

Активная зона реактора набрана из тепловыделяющих сборок квадратного сечения (модификации CF3) в количестве 177 штук с расположением в каждой их них твэлов по схеме 17х17. В качестве материала оболочки выбран циркониевый сплав с предельной температурой нагрева до 343 °С. Производителем тепловыделяющей сборки CF3 (China Fuel) является корпорация CNNC.

Для проекта «Hualong One» реализован проектный цикл перегрузки топлива каждые 18 месяцев.

Проектный срок службы реактора «Hualong One» составляет 60 лет.

Гермообочка имеет двойную защитную оболочку, способную противостоять всем видам внешних угроз и соответствует самым высоким международным стандартам с точки зрения безопасности.

Вероятность повреждения активной зоны (core damage frequency, CDF) для проекта «Hualong One» составляет менее 10^{-6}.

Частота раннего выброса радиоактивных веществ за пределы защитной оболочки (large early release frequency, LERF) составляет менее 10^{-7}.

По сейсмостойкости проект «Hualong One» рассчитан на ускорения колебаний частиц грунта до 0,3g.

Запас до кризиса кипения (DNB) превышает 15%.

Проект «Hualong One» относится к реакторам третьего поколения, в нем применяется инновационное использование комбинации «активной и пассивной» систем безопасности:

- Система аварийного охлаждения активной зоны (Emergency Core Cooling) обеспечивает отвод тепла от активной зоны. В состав системы входят активные системы подачи воды низкого и среднего давления, а также пассивная система подачи воды из аккумуляторов (гидроёмкостей).
- Система отвода тепла со стороны второго контура (Heat Removal of Secondary Side) обеспечивает отвод тепла от активной зоны через парогенератор со стороны второго контура. Активной является система подача дополнительных объёмов воды в парогенератор. Пассивной является система отвода тепла от второго контура.
- Система заливки и охлаждения шахты реактора (Cavity Flooding and Cooling) предназначена для охлаждения днища корпуса реактора, обеспечения его целостности и удержания расплава топлива внутри корпуса. Устройство - «Ловушка расплава», расположенная под корпусом реактора, не предусмотрена.
- Система отвода тепла от гермооболочки (Containment Heat Removal) нужна для отвода тепла и поддержания в требуемых пределах температуры и давления внутри гермооболочки. Имеются активная спринклерная система и пассивная система отвода тепла.

Кроме того, в проект «Hualong One» внедрена система онлайн-мониторинга коэффициента запаса до кризиса теплоотдачи (DNBR) и

локальной плотности энерговыделения (LPD).

Сравнение конструктивных решений двух проектов китайского реактора «Hualong One-1000» и российского реактора ВВЭР-1200 с водо-водяными реакторами под давлением

Оба проекта китайский реактор «Hualong One-1000» и российский реактор ВВЭР-1200 с некипящими водоохлаждаемыми реакторами относятся к реакторам третьего поколения, имеют сравнительно одинаковую электрическую мощность, 1150 МВт для проекта «Hualong One» и 1200 МВт для ВВЭР-1200.

Водяные реакторы под давлением входят в состав двухконтурной тепловой схемы АЭС, однако в первом контуре проекта «Hualong One» три контура циркуляции теплоносителя, а в российском проекте ВВЭР-1200 четыре контура циркуляции теплоносителя, что соответственно увеличивает количество основного оборудования, время монтажа оборудования, стоимость проекта [3].

Несмотря на то, что расположение при меньшем количестве основного оборудования первого контура должно быть более компактным по сравнению с размещением четырех контуров, следует отметить, что в проектах ВВЭР бассейн выдержки отработанного топлива находится в объеме гермооболочки, а в проекте «Hualong One» бассейн выдержки и система перегрузки топлива вынесены в отдельное помещение, пристроенное к основной гермооболочке, что по сути увеличивает объемы гермооболочки.[3] Размеры гермооболочки для проекта «Hualong One» примерно высота 13,6 м, диаметр 45 м.

Основные характеристики проектов «Hualong One» и ВВЭР-1200 представлены в таблице 2.

Активная зона реактора ВВЭР-1200 набрана из 163 ТВС шестигранной формы в каждой из них по 312 твэлов, в проекте «Hualong One» активная зона формируется из 177 ТВС квадратного сечения с твэлами 17х17 штук.

В обоих проектах может использоваться в качестве ядерного топлива как диоксид урана, так и смешанное уран-плутониевое топливо, для изготовления оболочки твэла используются циркониевые сплавы, отличающиеся друг от друга по химическому составу.

Отличительной особенностью проектов является подход к удержанию расплава ядерного топлива в ядерном реакторе в случае тяжелой аварии.

Таблица 2. *Характеристики реактора HPR-1000 и ВВЭР-1200*

Характеристика	ВВЭР-1200	HPR-1000
Тепловая мощность, МВт	3200	3050
Электрическая мощность, МВт	1198	1150
Номинальное давление 1 контура, МПа	16,2	15,5
Температура теплоносителя на входе в активную зону, °С	298,2	291,5
Температура теплоносителя на выходе из активной зоны, °С	328,6	328,5
Количество ТВС, шт.	163	177
Частота повреждения активной зоны	$2 \cdot 10^{-7}$	$<10^{-6}$

В проекте «Hualong One» не применяется удержание расплава ядерного топлива с помощью устройства «ловушки расплава» расположенного под корпусом реактора, как это реализовано во многих современных проектах, например, ВВЭР-1200.

В реакторе ВВЭР-1200 «Ловушка расплава» в виде бака располагается под корпусом реактора, заполнена тугоплавким материалом, в состав которого входят поглощающие нейтроны материалы.

В случае проплавления активной зоны для проекта «Hualong One» реализована концепция IVR - удержания расплава внутри корпуса реактора за счет внешнего охлаждения корпуса реактора.

В проекте «Hualong One» применена концепция безопасности "течь перед разрушением" (leak before break, LBB). "Согласно этой концепции (LBB), невозможно внезапное катастрофическое разрушение оборудования и трубопроводов АЭС при условии надлежащего контроля за состоянием металла, из которого они изготовлены, и отсутствии гидроударов.

Этому событию предшествует постепенный рост дефектов в материале вплоть до образования сквозных трещин, которые не сразу приобретают критические размеры. Поэтому своевременная диагностика течей через трещины является гарантией предотвращения крупных аварий" [9].

Если сравнивать работу парогенераторов двух конструкций вертикального ПГ «Hualong One» и горизонтального ПГ ВВЭР-1200, то следует отметь то, что конструкция вертикального ПГ при своем конструктивном исполнении обла-

дает большей паропроизводительностью, тепловой эффективностью, чем горизонтальные ПГ.

В вертикальном парогенераторе экономайзерный и испарительный участок нагрева рабочей среды разделены между собой конструкционно, что позволяет увеличить давление во втором контуре.

Вертикальное расположение корпуса не ограничивает возможности расположения сепарационных устройств в парогенераторе. В нём устанавливается два уровня сепарации пара (циклоны, жалюзийные сепараторы), что позволяет получить более высокие показатели по сухости пара.

Характеристики парогенератора проекта «Hualong One» и ВВЭР-1200 представлены в таблице 3.

Таблица 3. *Характеристики парогенератора для проекта HPR-1000 и ВВЭР-1200*

Характеристика	ВВЭР-1200	HPR-1000
Парогенератор Паропроизводительность, т/ч	1602	2039
Давление генерируемого пара на выходе из коллектора пара, МПа	6,9± 0,1	6,80
Температура генерируемого пара на выходе из коллектора пара ПГ, °С	285,8± 1,0	283,85
Температура питательной воды, °С	225± 5	226
Влажность пара на выходе из коллектора пара ПГ, %, не более	0,2	<0,25

Характеристики циркуляционного насоса первого контура проекта HPR-1000 и ВВЭР-1200 представлены в таблице 4.

Таблица 4. *Характеристики ГЦН для реакторной установки HPR-1000 и ВВЭР-1200*

Характеристика	ВВЭР-1200	HPR-1000
Количество циркуляционных насосов в 1 контуре	четыре	три
Подача Q, $м^3$/ч	22000	23790
Напор, Н, МПа	0,59	

Заключение

Сегодня Китай обладает полным комплексом производства, позволяющим реализовать весь жизненный цикл от добычи урана, производства ядерного топлива, проектирования, производства оборудования ядерной энергетической установки, её строительства до ввода в эксплуатацию атомной электростанции, который может надежно обеспечить серийное производство энергоблоков в большом количестве.

Китай активно строит реактор проекта «Hualong One» не только в своей стране для решения экологических и экономических проблем, но и активно продвигает его строительство за рубежом.

Наличие с Великобританией соглашения о строительстве на её территории китайского реактора «Hualong One» позволит Китаю выйти на мировой рынок Европы, утвердиться на нем, получив признание своей ядерной технологии среди европейских государств.

Производственный ядерный энергетический комплекс Китая способен изготавливать 18 реакторов в год. Такими объемами не может похвастаться ни одно европейское государство, к тому же темпы строительства энергоблоков с реакторами «Hualong One» не превышают 5 лет, что подтверждается энергоблоками, вводимыми в эксплуатацию.

К тому же, если проект «Hualong One» подтвердит свою безопасность эксплуатации и низкую себестоимость получаемой электроэнергии, то составит главную конкуренцию российским проектам ВВЭР-1200 на мировом рынке ядерных технологий.

Список литературы

1. Комментарии специалистов Росатома газета «Страна Росатом», «Лаборатория» № 3−4 (62−63).
2. https://ru.wikipedia.org/wiki/Хуалун-1
3. http://atominfo.ru/newsn/u0744.htm/ Макеты Дракона –фотографии с выставки
4. https://inosmi.ru/20210203/249047792.html/ Новаторский суперпроект: рассмотрим ближе первый в мире блок реактора «Хуалун-1», выполняющий коммерческие операции (Синьхуа, Китай)
5. https://www.fondsk.ru/news/2021/04/27/kitajskie-atomschiki-zapuskajut-drakona-53459.html/эектронное издание «Фонд стратегической культуры» Китайские атомщики запускают «Дракона»
6. "Конструкция Hualong One компании CGN сертифицирована для использования в Европе: регулирование и безопасность - Мировые ядерные новости"
7. "Первый китайский ядерный реактор Hualong One начинает коммерческую эксплуатацию".

Агентство Рейтер. 29 Января 2021 года.
8. Цзи Син; Дайюн Сун; Юйсян Ву (март 2016 года)."HPR1000: усовершенствованный реактор с водой под давлением с активной и пассивной безопасностью".Engineering.**2**(1):79-87.doi:10.1016/J.ENG.2016.01.017
9. Ю.А. Безруков, Е.А. Лисенков, А.В. Селезнев "Анализ возможности гидроударов в первом контуре реакторов ВВЭР", МНТК-2009, ОКБ "ГИДРОПРЕСС"

References

1. Comments of Rosatom specialists newspaper "Strana Rosatom", "Laboratory" No. 3-4 (62-63).
2. https://ru.wikipedia.org/wiki/Хуалун-1
3. http://atominfo.ru/newsn/u0744.htm / Dragon Lay-outs – photos from the exhibition
4. https://inosmi.ru/20210203/249047792.html/ Innovative superproject: Let's take a closer look at the world's first Hualong-1 reactor unit performing commercial operations (Xinhua, China)
5. https://www.fondsk.ru/news/2021/04/27/kitajskie-atomschiki-zapuskajut-drakona-53459.html/эектронное publication "Foundation of Strategic Culture" Chinese nuclear scientists launch "Dragon"
6. "CGN's Hualong One design is certified for use in Europe: Regulation and Safety - World Nuclear News"
7. "China's first Hualong One nuclear reactor begins commercial operation." Reuters News Agency. January 29, 2021.
8. Ji Xing; Daiyun Song; Yuxiang Wu (March 2016)."HPR1000: Advanced pressurized water reactor with active and passive safety".Engineering.2(1):79-87.doi:10.1016/J.ENG. 2016.01.017
9. Yu.A. Bezrukov, E.A. Lisenkov, A.V. Seleznev "Analysis of the possibility of hydraulic shocks in the first circuit of VVER reactors", MNTK-2009, OKB "GIDROPRESS"

НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

УДК 620.92

Исследование режимов работы фотоэлектрической электростанции при параллельной работе с энергетической системой

С.А. Абейдулин [1], А.Н. Фролова [1]
[1] *Севастопольский государственный университет,*
ул. Университетская 33, 299053, Севастополь, Россия, SAAbeidulin@sevsu.ru

Статья поступила 09.02.2023 г.; после доработки 13.02.2023 г.

Аннотация

При проектировании солнечных электростанций необходимо провести анализ и сделать соответствующие расчеты для обеспечения эффективной работы станции. Для повышения генерации электрической энергии станцией в общую энергосистему необходимо обеспечить эффективную работу всего оборудования станции и отдельных её узлов.

Ключевые слова: фотоэлектрический модуль, инвертор, солнечная электростанция, энергетическая система, солнечные батареи.

Study of operating modes of a photovoltaic power plant in parallel operation with a power system

S.A. Abeydulin [1], A.N Frolova [1]
[1]*Sevastopol State University, st. Universitetskaya 33, 299053, Sevastopol, Russia*
SAAbeidulin@sevsu.ru

Received 09.02.2023 y.; received in final form 13.02.2023 y.

Abstract

When designing emergency power plants, it is necessary to analyze and make appropriate calculations to ensure the efficient operation of the plant. To obtain high power stations in the common power system, the efficient operation of all station equipment and its large places is necessary.

Key words: photovoltaic module, inverter, solar power plant, energy system, solar battery.

Введение

В зависимости от степени необходимой надежности питания все пользователи электроэнергии делятся на три категории, которые определяют необходимое количество источников энергии и схему питания.

В первую категорию входят потребители, нарушение питания которых может привести к опасности для жизнедеятельности людей, значительному ущербу национальной экономики, повреждению дорогостоящего основного оборудования, массовым дефектам продуктов, нарушению функционирования особо важных элементов коммунальных услуг. Эти потребители должны получить электричество минимум от двух независимых и взаимно резервированных источников энергии.

Вторая категория потребителей формируются на основе, прерывания питания которых приводит к недопроизводству, массовому простою рабочих, механизмам и промышленному транспорту, нарушению нормальной деятельности значительной части населения. Эти потребители могут получать электричество из двух независимых источников. В случае отключения электроэнергии от одного из них, скажем, отключения электроэнергии на время, необходимое для включения резервного питания от дежурного персонала или выездной оперативной бригадой.

Все остальные потребители электроэнергии относятся к третей категории. Сохранение этих потребительских ресурсов допускается из одного источника.

Нормальная работа каждого пользователя электрической энергии требует не только бесперебойного питания, но и обеспечения определенного качества электрической энергии, показатели которой включают: отклонение напряжения и частоту от указанных номинальных значений, колебания напряжения и частоту несинусоидальной формы кривой напряжения, асимметрию трехфазной системы напряжения [1-3]. Разрабатываемая солнечная электростанция мощностью 2,8 МВт предназначена для разгрузки основной питающей станции, как основной источник энергии, а также в качестве резервного источника питания в случае повышенного потребления или аварии основной станции. Как дополнительный источник питания для поддержания первой и второй категории надежности электроснабжения.

Для постройки, проектируемой СЭС (рис. 1) были применены солнечные модули BST450-72M HC PERC (Delta), характеристики указаны в табл. 1. [4].

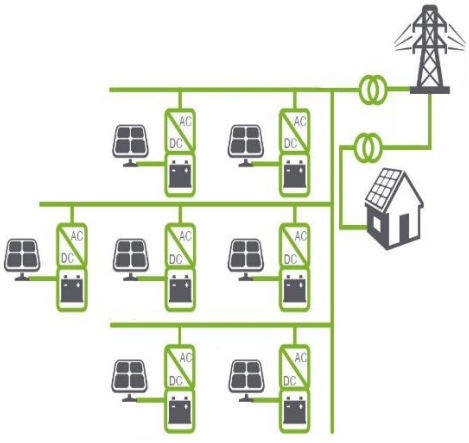


Рис.1. Проектируема солнечная электростанция с заданной мощностью 2,8 МВт

Таблица 1. *Характеристики солнечного модуля BST450-72M HC PERC (Delta)*

Номинальное напряжение, В	12, 24
Максимальная мощность, Вт	450
Тип модуля	монокристалл HC
Стандарт модуля	Grade A, PERC
Напряжение при работе на нагрузку, В	41.40
Напряжение холостого хода, В	50
Ток при работе на нагрузку, А	10.87
Ток короткого замыкания, А	11.36
Максимальное напряжение XX массива солнечных батарей, В	1500
Кол-во диодов	3
КПД модуля, %:	20.2

Выбран инвертор, применяемый в проектируемой СЭС Solis-110K-HV-5G за счет его наибольшей максимального входного напряжения и водного тока. Электротехнические характеристики указаны в таблице 2.

Таблица 2. *Характеристики инвертора Solis-110K-HV-5G [25]*

Вход постоянного тока	
Максимальная входная мощность постоянного тока, кВт	132
Макс. Входное напряжение постоянного тока, В	1100
Пусковое напряжение, В	180
Диапазон напряжения MPPT, В	200-1000
Макс. Входной ток, А	26
Макс. Ток короткого замыкания для каждого MPPT	40,6
Выход переменного тока	
Номинальная выходная мощность, кВт	110
Максимальная выходная мощность, кВт	121
Номинальное напряжение сетки, В	480
Макс. Выходной ток, А	129,4

Для выполнения заданного условия, поддержания мощности в размере 2 800 кВт, необходимо подключить солнечные модули последовательно и параллельно. При последовательном подключении повышается уровень напряжения, параллельном повышается сила тока. Проведем расчёт количества солнечных панелей, подключаемых к инвертору параллельно:

$$M_{i=\frac{I_{вх}}{I_{н-ки}}=\frac{26}{10,87}=2,4;}$$

где M_i — количество параллельных подключений солнечных модулей к инвертору; $I_{вх}$ —

максимальный входной ток; $I_{н\text{-}ки}$ — ток при работе на нагрузку.

Делаем, вывод из ответа, что существует возможность параллельного подключения двух панелей. Произведем расчет количества солнечных панелей, подключаемых к инвертору последовательно:

$$M_{u}=\frac{U_{вх}}{U_{н-ки}}=\frac{1100}{41,4}=26,6;$$

где M_u — количество последовательных подключений солнечных модулей к инвертору; $U_{вх}$ — максимальное входное напряжение; $U_{н\text{-}ки}$ — ток при работе на нагрузку.

Делаем, вывод из ответа, что существует возможность последовательного подключения двадцати шести панелей. На основании вышеизложенного следует, что к инвертеру возможно подключить 52 солнечные панели. Для упрощения будем обозначать такое соединение – солнечная батарея. Проведя расчеты, внесем в таблицу 3, количественные и качественные характеристики проектируемой солнечной электростанции поддерживающую напряжение в 2 800 кВт

Таблица 3. *Параметры проектируемой СЭС*

Мощность одной батареи, кВт	23,4
Количество батарей в СЭС	120
Общая мощность СЭС, кВт	2 808
Количество инверторов	120
Количество панелей в СЭС	6 240
Ток, А	5 800

При рассмотрении ситуационной карты присоединенной СЭС к подстанции примем для расчетов такое же расстояние для проектируемой солнечной электростанции, а именно 2 530 метров.

Проведем расчет потерь напряжения при передаче вырабатываемого электричества от СЭС до ПС, для того чтобы определить необходимость применения вольтодобавочного трансформатора.

Вольтодобавочным трансформатором называется такой электрический трансформатор, который включается своей вторичной обмоткой последовательно в цепь вторичной обмотки основного трансформатора или просто в рассечку линии основной сети. Обычно вольтодобавочный трансформатор имеет переменный коэффициент трансформации (подобно автотрансформатору), но может быть также и нерегулируемым [5-7].

Вольтодобавочные трансформаторы традиционно используют с целью автоматической регулировки напряжений отдельных линий или группы линий. К примеру, при реконструкции сети, где используется трансформатор без возможности регулирования под нагрузкой, именно вольтодобавочный трансформатор позволяет регулировать напряжение — он дает возможность выравнивать напряжение в сети, убирает несимметричность напряжения на определенном участке цепи, снижает опасные последствия в случае отгорания нулевого проводника [8].

Усиливающий трансформатор (рис. 2) действует на напряжение, подаваемое потребителю, добавляя к нему собственную дополнительную ЭДС, которая вычитается или добавляется к напряжению основной сети. В общем, усиливающие трансформаторы могут быть как регулируемыми, так и нерегулируемыми.

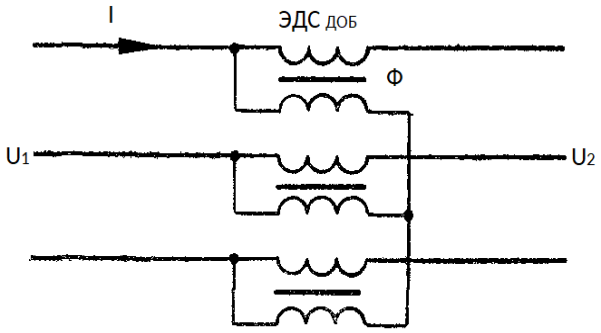


Рис. 2. Усиливающий трансформатор

В любом случае они образуют определенное дополнительное напряжение, независимо от того, какая нагрузка подключена и получает питание от этой сети в текущий момент. И непосредственно размер надбавки выбирается на основе максимальной и минимальной нагрузки, чтобы пользователь ни в коем случае не испытывал перенапряжения [9].

На первом рисунке показана схема включения усиливающего трансформатора без настройки. Здесь первичные обмотки трех однофазных трансформаторов соединены по типу "звезда" и питаются от трех фаз основной регулируемой электросети. Вторичные обмотки этих трансформаторов, как отмечалось выше, последовательно соединяются в расчете и предназначены для более высоких токов I. Рассматривая передачу энергии солнечной электростанции на шины ПС, не целесообразно проводить транс-

формацию напряжение с выдаваемым номиналом 480 В в 6 кВ из-за большой преобразуемой мощности, а также больших потерь при трансформации [10].

При проектировании было принято решение поделить вырабатываемую мощность среди пяти трансформаторных подстанций с номинальной мощностью 630 кВА и провести распределение за счет распределительного устройства.

В таблице 3 указаны, перечислены параметры генерируемой мощности напряжения и тока с проектируемой СЭС (рис. 3), воспользуемся ими для определения применимой кабельной линии.

Учитывая коэффициент одновременности 0,87 (ks) проведем расчет тока:

$$I_{\text{р}}=I_{\text{вых}}\cdot ks=5850\cdot 0{,}87\equiv 5089;$$

При выборе кабельных линий, рассматривая таблицу из раздела правила устройства электроустановок (ПУЭ) ПУЭ-7 допустимые длительные токи для проводов, шнуров и кабелей с резиновой или пластмассовой изоляцией, в таблице допустимых длительный тока для кабелей с медными жилами с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массами изоляцией в свинцовой оболочке, прокладываемых в земле. Выбор пал на кабель с сечением токопроводящей 800 мм^2 (табл. 4).

Таблица 4. *Параметры проектируемой СЭС*

Сечение токопроводящей жилы, мм2	Ток, А, для кабелей
800	одножильных до 1 кВ
	1 700

При выборе подходящего кабеля, принято решение применить АСБл 1х800мм^2 [7].

В связи с тем, что электрическое сопротивление данного кабеля на 1 км жилы при температуре 20 °С составляет 0,0367 Ом. Применение вольтодобавочного трансформатора нецелесообразно.

На рисунке 3 предоставлено схема проектируемой солнечной электростанции, подключение солнечных панелей к инвертору и общей шине.

Также была разработана схема подключения СЭС к распределительному устройству и трансформаторными подстанциями. Вышеуказанная схема будет заменена условным графическим обозначением как источник питания для упрощения понимания проектируемой схемы (рис. 4).

Проектируемая солнечная электростанция обеспечивает, в рабочие часы, мощность, прописанную в акте между двумя сетевыми организациями. Тем самым разгружая основные источники питания или будучи резервным источником питания повышает надежность энергоснабжения [10].

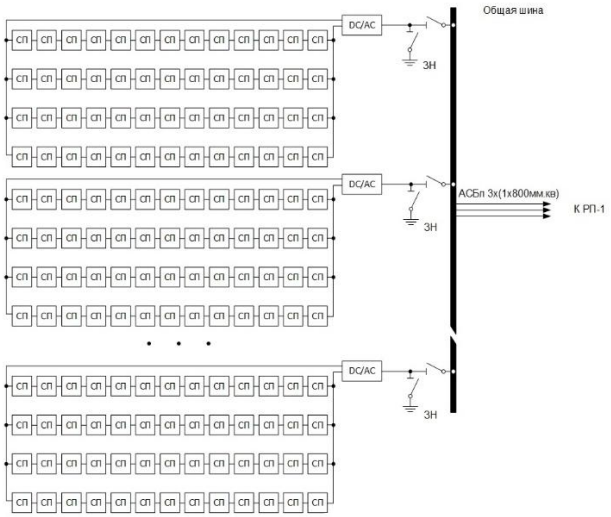


Рис. 3. Схема подключения солнечных панелей к инвертору

Применяемые солнечные панели и инверторы были выбраны на основании необходимости выполнения условия, достичь необходимо вырабатываемого значения мощности. Построена схема присоединения панелей в батареи, а также сети электростанций с солнечной электростанции.

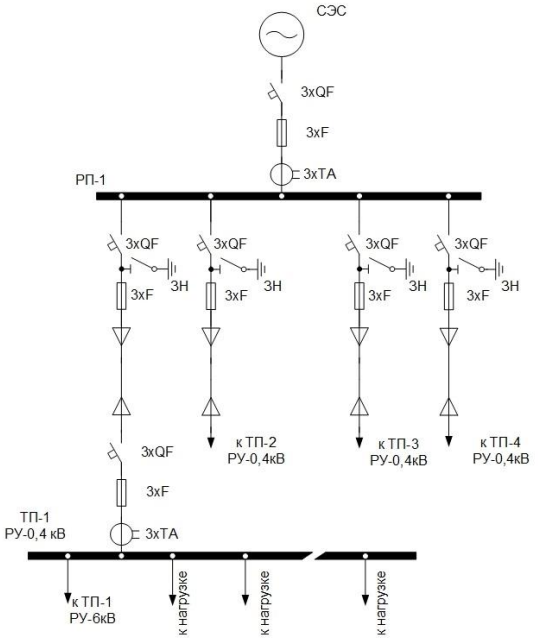


Рис. 4. Схема соединения солнечной электростанции с электросетями

Заключение

Предложенный проект солнечной электростанции позволяет провести анализ возможных путей повышения эффективности работы основного и вспомогательного оборудования станции и значительно повысить выработку электричкой энергии в общую энергосистему. Новая схема электроснабжения, предложенная авторами этой работы, позволяет улучшить основные характеристики работы генерирующего оборудования. Также в работе были проведены исследования по влиянию работы солнечной электростанции на сети и системы электроснабжения. Приведены способы, методы и решения по уменьшению влияния высших гармоник на комплекс оборудования, попадающий под негативное воздействие. Нестационарные режимы работы солнечной электростанции, связанные с пасмурной погодой при анализе, выявили падение КПД, что приводит к негативным скачкообразным уровням приводящие к разрушению и ухудшению работы электроприборов. Разработанная солнечная электростанция подходит для полноценного или резервного обеспечения необходимой мощности.

Список литературы

1. Pathy S., Subramani C., Sridhar R., Thentral T., Padmanaban S. Nature-inspired MPPT algorithms for partially shaded PV systems: A comparative study, *Energies*, 2019, vol. 12, pp. 1451.
2. Интеллектуальная система управления, используемая при работе ветроэлектрических установок /Л. М. Абдали, Ф. М. Аль-Руфаи, Б. А. Якимович, В. В. Кувшинов // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2021. Т. 24, № 1. С.102–112.
3. Возобновляемые источники энергии 2.0: Новая программа развития «зеленой» энергетики в России 13.11.2020 [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://energypolicy .ru/a-maksimov-vie-2-0-novaya-programma-razvitiya-zelenoj-energetiki-v-rossii /energetika/2020/17/13/ (дата обращения: 30.11.2021).
4. H. Li, D. Yang, W. Su. An overall distribution particle swarm optimization mppt algorithm for photovoltaic system /under partial shading, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2018, vol. 1, no. 1, pp. 265–275.
5. Belkaid A., Colak I., Kayisli K. Implementation of a modified P&O-TMMT algorithm adapted for varying solar radiation conditions, *Electrical Engineering*, 2017, vol. 99, pp. 839–846.
6. Анализ производительности гибридных фотоветроэлектрических установок / Абд Али, Лаит Мохаммед А., Ф. М. Аль-Руфаи, Б. А. Якимович, В. В. Кувшинов // Энергетические установки и технологии. 2019. Т. 5, № 2. С. 61–68.
7. Абдали Л.М. Анализ и моделирование автономной фотоэлектрической системы с использованием среды MATLAB/SIMULINK / Л.М. Абдали, Х.А. Исса, К.А. Али, В.В. Кувшинов, Э.А. Бекиров // Строительство и техногенная безопасность. — 2021. — № 21(73). — с.97-105.
8. Абдали Л.М., Аль-Руфаи Ф.М., Якимович Б.А., Кувшинов В.В., Исса Х.А., Мохаммед Х.Д. Комбинированная энергетическая установки для преобразования солнечной и ветровой энергии. международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2020» – Севастополь: СевГУ, 2020. с.21-28
9. Guryev V.V., Yakimovich B.A., Abd Ali L.M. Improvement of Methods for Predicting the Generation Capacity of Solar Power Plants: the Case of the Power Systems in the Republic of Crimea and City of Sevastopol. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 242-246.
10. Моделирование режимов работы фотоэлектрической системы / Л. М. Абдали, Х. Д. Мохаммед, Б. А. Якимович, В. В. Кувшинов, Н. В. Коровкин, Д. Ф. Бордан // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2021. Т. 24, № 3. С. 78–87.

References

1. Pathy S., Subramani C., Sridhar R., Thentral T., Padmanaban S. Nature-inspired MPPT algorithms for partially shaded PV systems: A comparative study, *Energies*, 2019, vol. 12, pp. 1451.
2. Intelligent control system used in the operation of wind power plants /L. M. Abdali, F. M. Al-Rufai, B. A. Yakimovich, V. V. Kuvshinov // Bulletin of IzhGTU named after M. T. Kalashnikov. 2021. V. 24, No. 1. P. 102–112.
3. Renewable energy sources 2.0: A new program for the development of "green" energy in Russia 11/13/2020 [Electronic resource] / Access mode: https://energypolicy.ru/a-maksimov-vie-2-0-novaya-programma -razvitiya-zelenoj-energetiki-v-rossii /energetika/2020/17/13/ (date of access: 11/30/2021).
4. H. Li, D. Yang, W. Su. An overall distribution particle swarm optimization mppt algorithm for photovoltaic system /under partial shading, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2018, vol. 1, no. 1, pp. 265–275.
5. Belkaid A., Colak I., Kayisli K. Implementation of a modified P&O-TMMT algorithm adapted for varying solar radiation conditions, Electrical Engineering, 2017, vol. 99, pp. 839–846.
6. Abd Ali, Lait Mohammed A., F. M. Al-Rufai, B. A. Yakimovich, V. V. Kuvshinov / Abd Ali, Lait Mohammed A., Power plants and technologies. 2019. V. 5, No. 2. S. 61–68.
7. Abdali L.M. Analysis and modeling of an autonomous photovoltaic system using the

MATLAB/SIMULINK environment / L.M. Abdali, H.A. Issa, K.A. Ali, V.V. Kuvshinov, E.A. Bekirov // Construction and technogenic safety. - 2021. - No. 21(73). - c.97-105.
8. Abdali L.M., Al-Rufai F.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V., Issa H.A., Mohammed H.D. Combined power plant for converting solar and wind energy. international scientific and practical conference "Environmental, industrial and energy security - 2020" - Sevastopol: SevGU, 2020. p.21-28.
9. Guryev V.V., Yakimovich B.A., Abd Ali L.M. Improvement of Methods for Predicting the Generation Capacity of Solar Power Plants: the Case of the Power Systems in the Republic of Crimea and City of Sevastopol. Appl. Sol. Energy-gy, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 242-246.
10. Abdali L. M., Mohammed Kh. D., Yakimovich B. A., Kuvshinov V. V., Korovkin N. V., Bordan D. F. Simulation of operating modes of a photoelectric system // Bulletin IzhGTU named after M. T. Kalashnikov. 2021. V. 24, No. 3. S. 78–87.

УДК 620.92

Энергосберегающие технологии обработки материалов для производства компонентов энергокомплексов на основе ветровых и солнечных электростанций

С.А. Абейдулин [1], Е.Н. Давиденко[1]

[1]*Севастопольский государственный университет, ул. Университетская 33, 299053, Севастополь, Россия, SAAbeidulin@sevsu.ru*

Статья поступила 10.02.2023 г.; после доработки 14.02.2023 г.

Аннотация

Для производства отдельных узлов ветроустановок и каркасов солнечных панелей необходимо использовать уникальные технологии обработки материалов, т. к. эти части, в результате длительной работы станций, подвергаются повышенным ветровым и температурным нагрузкам.

Ключевые слова: ветроэлектрическая установка, фотоэлектрические преобразователи, энергетический комплекс, низкотемпературная обработка, энергосбережение.

Energy-saving technologies of processing materials for the production of energy complex components based on wind and solar power plants

S.A. Abeidulin [1], E.N. Davidenko

[1]Sevastopol State University, st. Universitetskaya 33, 299053, Sevastopol, Russia

SAAbeidulin@sevsu.ru

Received 10.02.2023 y.; received in final form 14.02.2023 y.

Abstract

To produce individual components of wind turbines and solar panel frames, it is necessary to use unique materials processing technologies, since these parts, as a result of long-term operation of the stations, are subjected to increased wind and temperature loads.

Key words: wind power plant, photovoltaic converters, energy complex, low-temperature processing, energy saving.

Введение

В настоящее время перед промышленностью нашей страны стоит проблема снижения энергоемкости производства энергокомплексов с возобновляемыми источниками энергии. А также умебньшения их металлоемкости с целью удешевления и увеличения срока службы.

Однако за последнее десятилетие промышленность РФ перешла на применение новых композитных материалов, обрабатываемость, которых в 10–20 раз хуже, чем при обработке стали [1]. Следовательно, и энергопотребление увеличивается во столько же раз. Так, например, для производства энергокомплексов, таких как ветротурбины, тепловые насосы, солнечные батареи и солнечные коллекторы, преобразователи энергии моря используются, стали и сплавы, неметаллические материалы, пластмассы с целенаправленным набором свойств [2-4]. Вышеперечисленные конструкционные материалы, отвечающие запросам проектирования и эксплуатации, обладают также и негативным свойством – плохой обрабатываемостью.

В работе представлены результаты исследований взаимодействия обрабатывающего инструмента и изделия в низкотемпературной среде. С целью снижения энергоемкости технологического процесса изготовления энергокомплексов с нетрадиционными источниками энергии был предложен низкотемпературный способ воздействия на обрабатываемую поверхность детали из труднообрабатываемого материала. Предложенная технология и оснащение к ней позволили существенно снизить энергопотребление на конкретных участках производства

Постановка цели исследования

Теоретические исследования отечественных и зарубежных ученых [1,5,6] показали, что основные параметры воздействия на поверхность обрабатываемого материала зависят от температуры в зоне контакта.

В связи с этим температурные поля клина инструмента и обрабатываемой детали представляют интерес для технологов, изготовляющих энергокомплексы с нетрадиционными источниками энергии. Технологов также интересует взаимодействие металлических или неметаллических поверхностей в определенной газовой или жидкой среде. Теплофизические процессы, протекающие между взаимодействующими поверхностями в определенной среде, оказывают как положительное, так и отрицательное влияние на обработанную поверхность, и поверхностный слой. Следовательно, от состояния поверхности и поверхностного слоя будут зависеть надежность и долговечность энергокомплекса [7-9].

Анализ отказов ВЭУ на Сакской ВЭС показал, что в результате значительных динамических нагрузок происходят поломки тех деталей, у которых был повышенный износ из-за недостаточно высоких параметров качества поверхности и поверхностного слоя.

При выполнении технологического обслуживания было обнаружено:

- повышенный люфт в тягах шарнирных узла ступицы;
- износ наружных обойм подшипников;
- износ пальцев кривошипа;
- разрушение маслоотбойника;
- разрушение винтов фиксации пальцев;

Более подробное изучение износа и поломок показывает, что этому способствовали разрушение поверхности по причине большой микронеровности с последующим ее выкрошиванием; наличие микротрещин и их развитие; снижение усталостной выносливости.

Техническое обслуживание ветротурбин позволяет систематизировать отказы по определенным критериям: повышенный износ; разрушение; деформация; скол вследствие удара. Большая часть отказов вызвана недостатками технологического процесса изготовления детали из полученной заготовки. Так, например, повышенный износ беговой дорожки подшипника связан с низким качеством поверхности и поверхностного слоя беговой дорожки. Большая величина микронеровностей не способствует удержанию смазки. А остаточные напряжения (растягивающие) способствовали развитию трещин.

Это обстоятельство вынудило обратить внимание на протекание теплофизического процесса между инструментом и деталью, вследствие чего формируется поверхность и поверхностный слой. Понимание механизма протекания процесса позволяет управлять им и воздействовать в нужном направлении на получаемые показатели качества поверхности и поверхностного слоя.

Анализируя результаты теоретических исследований, был выделен метод источника тепла и как распространяется тепло в обрабатываемой детали. Затем было выполнено исследование температурного поля клина термостатируемого инструмента при определенной заданной температуре.

Расчет распределения изотерм на рабочей поверхности инструмента выполнялся путем решения задачи теплопроводности. В данном случае рассматривалась область инструмента, примыкающая к режущей кромке и состоящая из двух видов материала – твердосплавной платины (например, ВК 8) и материала державки (например, сталь 45). Указанная область разбивалась на восьмигранные пространственные блоки, на основе которых автоматически строилась в программе объемно-тетроидальная сетка. Граничные условия формулировались с учетом наличия внутренней полости и жесткого испарителя, наполненного криагентом. Поле стационарных изотерм в инструменте было рассчитано для различных значений теплофизических постоянных и потоков тепла на режущей кромке инструмента [7].

Результаты проведенного исследования

Уравнение, описывающее стационарное

тепловое состояние тела имело вид:

$$k\nabla^2\phi + Q = 0 \quad (1)$$

где: k – коэффициент теплопроводности, Q – мощность источников тепла внутри тела, ϕ – температура тела,

∇^2 – дифференциальный оператор Лапласа:

$$\nabla^2 = \frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} + \frac{d^2}{dz^2}; \quad (2)$$

При расчете теплового состояния тела необходимо рассматривать следующие граничные условия (рис. 1).

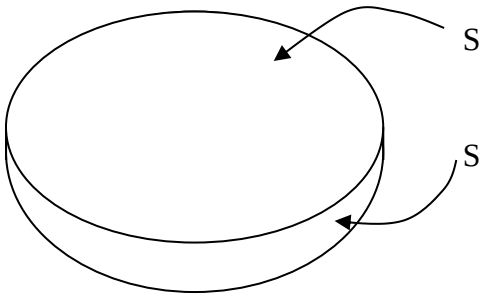


Рис. 1. Граничные условия теплового состояния

на S_1: $\varphi = \varphi_B$, на S_2:

$$H\left(\frac{d\phi}{dx}l_x + \frac{d\phi}{dy}l_y + \frac{d\phi}{dz}l_z\right) + q + h(\phi - \phi_\infty) = 0 \quad (3)$$

В этом уравнении:

l_x; l_y; l_z – производная в направлении внешней нормали, q – тепловой поток на части поверхности, h –коэффициент теплообмена, φ_∞ – температура среды.

При этом в граничном условии [8] поток тепла q и конвективная потеря тепла $h(\phi - \phi_\infty)$ не имеют места одновременно на одном и том же участке граничной поверхности тела.

С вышеуказанной точки зрения решение уравнения с отмеченными выше граничными условиями эквивалентно отысканию минимума функционала:

$$P = \int_V \frac{1}{2}\left\{k\left[\left(\frac{d\phi}{dx}\right)^2 + \left(\frac{d\phi}{dy}\right)^2 + \left(\frac{d\phi}{dz}\right)^2\right] - 2Q\phi\right\} dV + \int_S \left[q\phi + \frac{1}{2}h(\phi - \phi_\infty)^2\right] dS \quad (4)$$

Введем матрицы преобразования:

$$q = \begin{pmatrix}\phi'_x\\ \phi'_y\\ \phi'_z\end{pmatrix}; \qquad q^T = (\phi'_x, \phi'_y, \phi'_z); \qquad D = \begin{pmatrix}k & 0 & 0\\ 0 & k & 0\\ 0 & 0 & k\end{pmatrix} \quad (5)$$

Тогда функционал запишется так:

$$P = \int_V \frac{1}{2}[q^T Dq - 2\phi Q]\, dV + \int_{S_1} q\phi dS + \int_{S_2} \frac{h}{2}(\phi^2 - 2\phi\phi_\infty + \phi_\infty^2) dS \quad (6)$$

Для использования методики комплексных элементов необходимо разбить пространственную область (рис.1) на тетраэдральные элементы, каждый из которых имеет вид. Как показано на рис. 2.

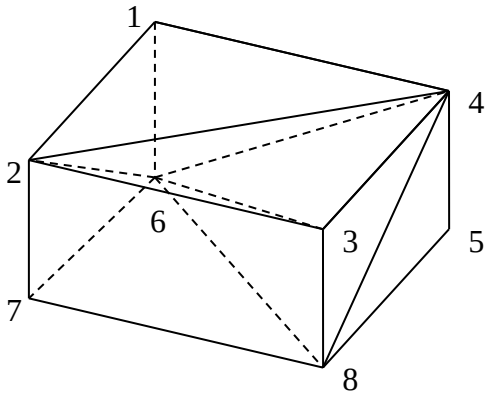


Рис.2. Вид отдельных элементов пространственной кристаллической решетки

Затем восьмивершинник разбивается на тетраэдные элементы, как показано на рис.3.

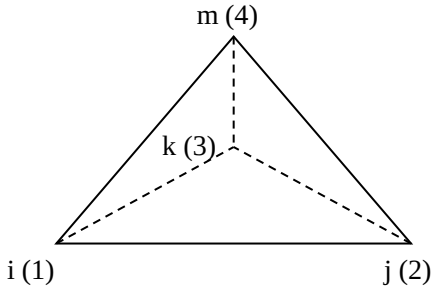


Рис. 3. Отдельные элементы узлов кристаллической решетки.

Значения температуры φ в узлах указанных элементов составляет искомый вектор узловых

значений температур.

$$\phi = \begin{pmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \vdots \\ \phi_n \end{pmatrix} \quad (7)$$

где n – количество узлов.

Соответственно для элементов с номером l рассматривается локальный вектор температур:

$$\Phi_l = \begin{pmatrix} \phi_i \\ \phi_j \\ \phi_k \\ \phi_m \end{pmatrix} \quad (8)$$

где: i, j, k, m – узлы элементов l.

Линейный интерполяционный полином для элемента имеет вид:

$$\phi(x, y, z) = N\Phi_l, \quad N = \left(N_1, N_2, N_3, N_4,\right) \quad (9)$$

Здесь N – матрица формы [9].

Из условия минимума функционала P получаем систему разрешающих уравнений метода конечных элементов:

$$K\Phi = F \quad (10)$$

где: K – матрица жесткости; F – вектор правых частей.

Далее, в соответствии с разработанной моделью температурного поля был выстроен алгоритм расчета температуры:

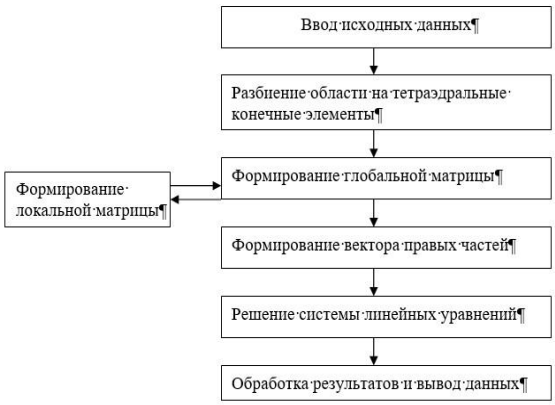


Рис. 4. Блок-схема алгоритма расчета температурного поля

В соответствии с программой, представленной на рис.4 приводится схема разбиения на восьмигранники. Которые в свою очередь разбиваются на тетраэдральные элементы (рис.5).

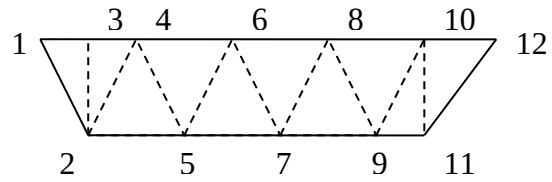


Рис. 5. Тетраэдральные элементы восьмигранников

Правильность алгоритма расчета подтвердилась примером расчета теплового поля инструмента. Температура на режущей кромке пластины задавалась 973 К, а температура криогента 77 К. Максимальная погрешность, полученная при расчете, составила 6 %.

Распределения температур в клине режущего инструмента из твердого сплава ВКВ представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Номера узлов											
									0	1	2
73	61	95	85	7	23	29	08	71	71	71	71

Измерение температуры вблизи растущей кромки осуществлялось термопарой «хромель-капель» и с помощью специального микрокристалла. Обработанного в ядерном реакторе с целью получения искаженной кристаллической решетки и последующим ее восстановлением под воздействием тепла зоны контакта «инструмент-деталь». Температура определялась в лаборатории по специальной методике.

Заключение

Выполненные теоретические исследования позволили объяснить:

- снижение энергоемкости технологического процесса изготовления энергокомплекса;
- увеличение производительности механической обработки основных деталей энергокомплекса;
- повышение стойкости инструмента;
- дробление стружки без специального устройства;
- обеспечение заданного качества обработанной поверхности и поверхностного слоя детали;

Эти технико-экономические показатели были получены в процессе экспериментальных

исследований. По теоретическим и экспериментальным исследованиям были сделаны следующие выводы:

- применение в технологическом процессе изготовления энергокомплексов с нетрадиционными источниками энергии низкотемпературного способа воздействия на поверхность детали можно считать целесообразным и экономически оправданным;
- низкотемпературный способ воздействия обеспечивает снижение энергопотребления при производстве основных деталей энергокомплексов в два и более раз;
- реализация НИР в условиях производства на ЗПО «Моторостроителем» показала, что они не противоречат требованиям технической безопасности, санитарным нормам и сохранению экологии окружающей среды.

Список литературы

1. Левицкий М.П. Температура при резании металлов // Журнал технической физики, 1940, т.х.вып. 13, 1964, т. XVI, вып.4, 1966, т. XXII, вып. 4.
2. Интеллектуальная система управления, используемая при работе ветроэлектрических установок /Л. М. Абдали, Ф. М. Аль-Руфаи, Б. А. Якимович, В. В. Кувшинов // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2021. Т. 24, № 1. С.102–112.
3. Анализ производительности гибридных фото-ветроэлектрических установок / Абд Али, Лаит Мохаммед А., Ф. М. Аль-Руфаи, Б. А. Якимович, В. В. Кувшинов // Энергетические установки и технологии. 2019. Т. 5, № 2. С. 61–68.
4. Абдали Л.М., Аль-Руфаи Ф.М., Якимович Б.А., Кувшинов В.В., Исса Х.А., Мохаммед Х.Д. Комбинированная энергетическая установки для преобразования солнечной и ветровой энергии. международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2020» – Севастополь: СевГУ, 2020. с.21-28.
5. Остафьев В.А., Чернявская А.А. Решение объемной задачи по определению температурного поля в режущем клине при обработке материалов резанием // Инженерно-физический журнал. № 500-80. Д.М.1980
6. Боуден Ф.П., Тейбор Д. Трение и смазка твердых тел. – М.: Машиностроение 1968, 544 с.
7. Исследование температурных полей в режущем клине глубокоохлажденного проходного резца / Левицкий И.А., Михайлов Н.П., Нагорный Ю.И., Покрытина Т.Ф. / Интенсификация технологических процессов механической обработки, Тез.докл.науч.конф. Ленинград, 1986, - 238 с.
8. Wotts/ Temperature distribution in Solid and Hollons Cylinder / Due to Moving Circumferentiol Pino Heat Socirce. Trums.ASME 1967.
9. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М: Мир, 1975 – 129 с.

References

1. Levitsky M.P. Temperature when cutting metals // Journal of technical physics, 1940, vol. 13, 1964, vol. XVI, no. 4, 1966, vol. XXII, no. 4.
2. Intelligent control system used in the operation of wind power plants /L. M. Abdali, F. M. Al-Rufai, B. A. Yakimovich, V. V. Kuvshinov // Bulletin of IzhGTU named after M. T. Kalashnikov. 2021. V. 24, No. 1. P. 102–112.
3. Analysis of the performance of hybrid photo-wind power plants / Abd Ali, Lait Mohammed A., F. M. Al-Rufai, B. A. Yakimovich, V. V. Kuvshinov // Power plants and technologies. 2019. V. 5, No. 2. S. 61–68.
4. Abdali L.M., Al-Rufai F.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V., Issa H.A., Mohammed H.D. Combined power plant for the conversion of solar and wind energy. international scientific and practical conference "Environmental, industrial and energy security - 2020" - Sevastopol: SevGU, 2020. p.21-28.
5. Ostafiev V.A., Chernyavskaya A.A. Solving a three-dimensional problem of determining the temperature field in the cutting wedge during the processing of materials by cutting. Inzhenerno-fizicheskij zhurnal. No. 500-80. D.M.1980.
6. Bowden F.P., Teibor D. Friction and lubrication of solid bodies. - M .: Mashinostroenie 1968, 544 p.
7. Study of temperature fields in the cutting wedge of a deep-cooled through cutter / Levitsky I.A., Mikhailov N.P., Nagorny Yu.I., Pokrytina T.F. / Intensification of technological processes of mechanical processing, Abstracts of reports of scientific conference. Leningrad, 1986, - 238 p.
8. Wotts/ Temperature distribution in Solid and Hollons Cylinder / Due to Moving Circumferentiol Pino Heat Socirce. Trums.ASME 1967.
9. Zenkevich O. Finite element method in engineering. - M: Mir, 1975 - 129 p.

УДК 620.92

Использование систем релейной защиты и автоматики при работе энергетических комплексов с установками на основе возобновляемых видов энергии

Борисов Б.Е.[1], Кувшинов В.В.[1], Абейдулин С.А.[1]
Севастопольский государственный университет, ул. Университетская 33, 299053, Севастополь, Россия
baribor isov@gmail.com, VVKuvsinov@sevsu.ru, SAAbeidulin@sevsu.ru

Статья поступила 14.02.2023 г.; после доработки 16.02.2023 г.

Аннотация
Рассмотрены вопросы обеспечения систем релейной защиты и автоматики на энергетических комплексах и в энергосистемах с использованием фотоэлектрических и ветровых электростанций.

Ключевые слова: релейная защита, аккумуляторные батареи, фотоэлектрическая система, автономная система электроснабжения, ветроэлектрическая установка.

Use of relay protection and automation systems in operation of energy complexes with installations based on renewable energy

Borisov B.E.[1], Kuvshinov V.V.[1], Abeidulin S.A.[1]

[1]Sevastopol State University, st. Universitetskaya 33, 299053, Sevastopol, Russia
baribor isov@gmail.com, VVKuvsinov@sevsu.ru, SAAbeidulin@sevsu.ru

Received 14.02.2023 y.; received in final form 16.02.2023 y.

Abstract
The issues of providing relay protection and automation systems in power complexes and in power systems using photovoltaic and wind power plants are considered.

Key words: relay protection, batteries, photovoltaic system, autonomous power supply system, wind power plant.

Введение

При работе энергетических комплексов включающих в себя ветроэлектрические установки и станции или солнечные фотоэлектрические станции происходит неравномерная генерация электричкой энергии. Это становиться возможным из-за непостоянства некоторых климатических факторов, таких как ветровой поток или солнечная инсоляция [1]. Для сокращения негативных последствий такой работы в энергетических комплексах и системах используются системы защиты и автоматики [2]. Основным элементом такой защиты является система релейной защиты и автоматики. Реле является основным элементом схем защиты электрооборудования от электрических повреждений, в связи с чем в дальнейшем появилось понятие релейная защита [3].

Изначально в России использовались устройства релейной защиты зарубежного производства, поэтому были организованы специальные службы, которые занимались обеспечением надежной и правильной работы этого оборудования. Далее, с развитием собственных исследовательских институтов, начали появляться

отечественные комплексы релейной защиты.

На данный момент в энергосистеме России разработана и используется достаточно надежная система электроснабжения потребителей, что стало возможным благодаря высоко развитым комплексам РЗА и ПА, своевременному выполнению техобслуживания данных устройств и довольно высокому числу специалистов, обслуживающих эти комплексы.

Постановка задачи

Разработанные ещё в Советском Союзе принципы построения и выполнения комплексов РЗА и ПА (рис. 1) используются и по сей день, так как за время эксплуатации эти решения показали свою эффективность и надежность. Это подтверждает высокий процент правильной работы устройств РЗА (УРЗА) и относительно небольшое число системных аварий. Однако учитывая новые реалии, связанные с, как упоминалось выше непостоянством работы энергокомплексов возобновляемой энергетики, возникла необходимость внедрения неких новых элементов и систем управления [4-6].

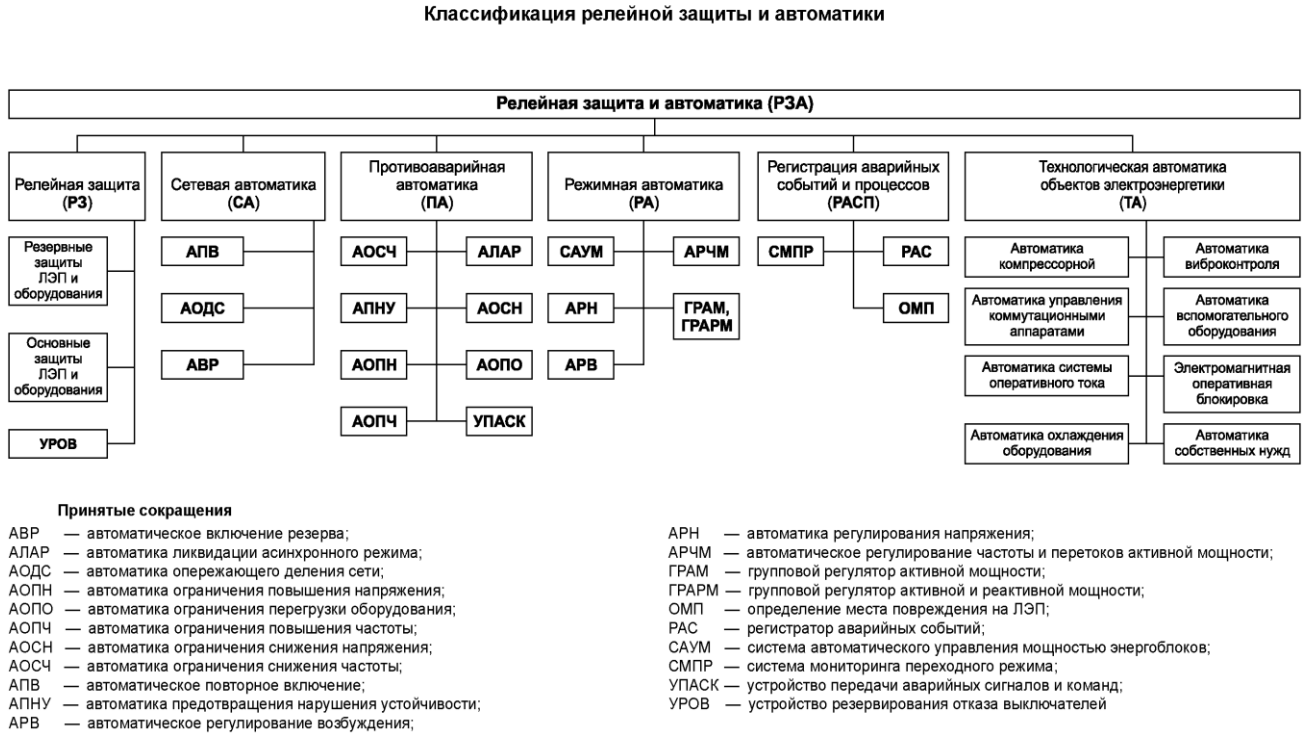


Рис. 1. Разновидности релейной защиты автоматики

Сегодня перед релейщиками стоит ряд проблем, связанных как с техническим состоянием устройств РЗА и ПА, так и с функционированием ЕЭС России в условиях развивающегося рынка энергетики:

- свыше 50% от общего количества (около 1.6 млн. устройств) установленных устройств РЗА и ПА морально и физически устарели [2, 7];
- большие расходы на эксплуатацию устройств, в том числе на техобслуживание и ремонты;
- снижение финансирования проектным и научно-исследовательским комплексам;
- устаревшая нормативно-техническая база, не отвечающая требованиям закона о техническом регулировании и текущем тенденциям мира электроэнергетики в части развития, внедрения и эксплуатации;
- отсутствие четкого разделения обязанностей между службами РЗА разных субъектов электроэнергетики.

Вышеперечисленные проблемы усугубились в условиях интенсивных работ по реконструкции объектов ЕЭС России, проводимых Федеральной Сетевой Компанией.

Постепенная замена устаревших или отработавших свой ресурс устройств РЗА и ПА на микропроцессорные аналоги не дает значительных улучшений:

- в общем количестве установленных УРЗА и

ПА по-прежнему высока доля устройств, отработавших свой ресурс;

- эксплуатационные издержки микропроцессорных устройств РЗА и ПА не сильно отличаются от трат на содержание аналогичных устройств на ЭМ элементной базе;
- уменьшение финансирования и структурные изменения в научно-исследовательском и проектном комплексе затрудняют эффективное использование накопленного опыта разработок устройств защиты;
- реформирование электроэнергетики затронуло всю структуру эксплуатации РЗА и ПА ЕЭС России. Ранее существовала четко организованная иерархическая структура эксплуатации – службы РЗА Центрального диспетчерского управления (ЦДУ), диспетчерского управления объединенной энергосистемы (ОДУ), центральные службы энергосистем, местные службы – которая эффективно и слаженно выполняла свои функции. В то время как новая структура эксплуатации только начинает выстраиваться.

Результаты исследования

Литература по релейной защите часто дает ошибочное представление о том, что в различных ситуациях можно достаточно точно определить основные величины, на которых базируется функционирование устройств РЗА и как следствие легко предсказать действие защиты в эти моменты [8].

В реальности же практика не всегда соответствует теории. В процессе эксплуатации релейной защиты выяснилось, что существенную роль в поведении защит играет фактор случайности и неопределенности.

В соответствии с работами А.М. Федосеева, Э.П. Смирнова и Е.Д. Зейлидзона все свойства релейной защиты делятся на техническое совершенство (включающее в себя селективность и устойчивость функционирования) и надежность функционирования.

Защита, обладающая высокой надежностью и техническим совершенством, может значительно повысить устойчивость и эффективность функционирования энергосистемы. Ненадежная защита является источником аварийности и может нанести системе огромный ущерб [9].

Все устройства защиты должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- надежно не срабатывать при отсутствии повреждения;
- срабатывать только в пределах своей защищаемой зоны;
- срабатывать только на свой вид повреждения.

По статистике чаще всего случаи неправильной работы устройств РЗА возникают по следующим причинам:

- несовершенство устройства, заложенное на этапе проектирование, когда защита не рассчитана на определенное неблагоприятное сочетание событий;
- ошибки обслуживающего персонала или проектной организации;
- возникновение неисправности в схеме защиты.

В развитых странах, как отмечалось выше, преобладает количество устройств РЗА выполненных на базе микропроцессоров (рис. 2). В нашей стране в основном релейная защита выполняется на базе устаревших ЭМ реле, а переход на современные микропроцессорные устройства проходит очень медленно.

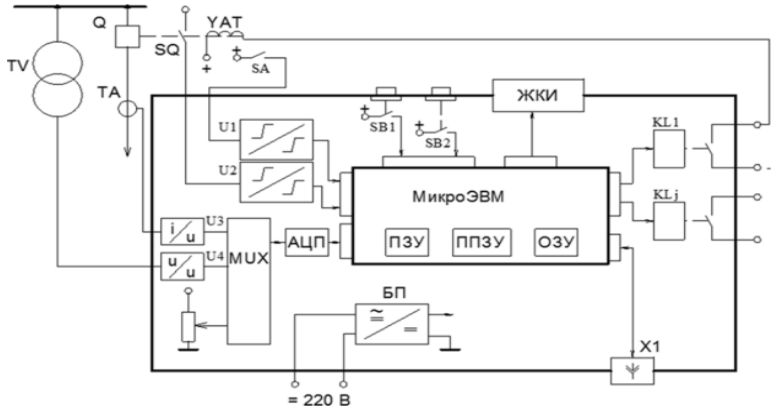


Рис. 2. Структурная схема МП терминала защит

По данным фирмы ОРГРЭС [3] к 2012 году МП терминалы занимали 18% всего парка эксплуатируемых УРЗА ЕЭС России. Согласно статистике АО «СО ЕЭС» [2] на 01.01.2018 года доля МП устройств в энергосистеме составляет 34% (рис. 3).

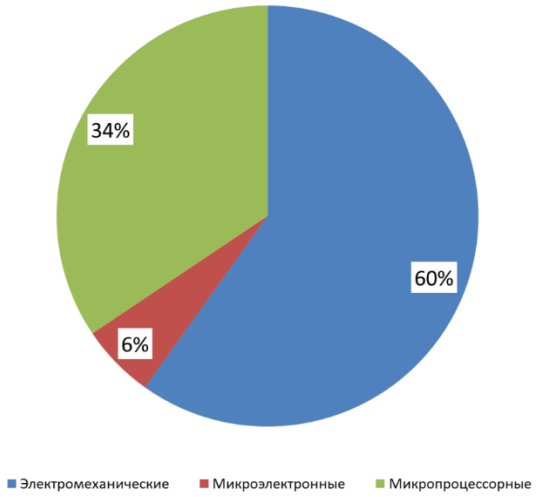


Рис. 3. Аппаратное исполнение устройств РЗА

Можно сделать вывод о том, что полноценный переход на микропроцессорные устройства РЗ, который необходим для развития и повышения эффективности энергосистемы, еще далек до своего завершения.

Микропроцессорные терминалы гораздо проще настраивать, они дают обширную информацию о произошедшей аварии, на МП терминалах проще и точнее выставляются уставки, которые могут изменяться удаленно по команде с диспетчерского пункта и т. д. Однако, статистика говорит о том, что процент неправильных действий современных панелей РЗ часто оказывается существенно выше, чем для старых защит, выполненных на электромеханической базе.

Рассмотрим одну из причин такой неприятной статистики. Величина повреждений для основного оборудования такого, как силовые трансформаторы и сборные шины, очень мала. Например, повреждения в силовых трансформаторах возникают в среднем один раз в 15 лет, примерно с такой же частотой возникают повреждения и на сборных шинах (количество повреждений зависит от класса напряжения и количества присоединений). При этом короткие замыкания вне зоны действия защит трансформаторов и сборных шин случаются по несколько раз в год, что характерно, когда к трансформатору подключено несколько линий. Если хотя бы малая часть этих внешних КЗ приведет к излишним срабатываниям, то величина случаев неправильной работы устройств РЗА будет невероятно большой.

В развитых Западных странах в результате быстрого прогресса разработки новых защит на базе МП терминалов происходит частое обновление используемых устройств. По последним данным, например, в США срок службы УРЗА сократился до 5-7 лет.

В России же 38% устройств РЗА отработали свой эксплуатационный ресурс и уже морально устарели. Их необходимо заменить более надежными и продвинутыми защитами. Количество отказов в работе устройств, связанных со старением оборудования, растет ежегодно. Аналогичная ситуация происходит и с первичным силовым оборудованием (генераторы, трансформаторы и т.д.) проработали уже гораздо больше своего эксплуатационного срока, что приводит к снижению надежности энергосистемы и повышению требований к релейной защите.

Во многих зарубежных странах проверкой, наладкой, изменением уставок занимается персонал предприятий-изготовителей устройств РЗА. Также большая часть проверок выполняется автоматически МП терминалом и в случае выявления неисправности уведомляет оперативный персонал. Такой подход позволил в несколько раз увеличить показатель надежности устройств РЗА, но и существенно сократить количество специалистов, обслуживающих эти устройства.

К основным причинам, замедляющим переход РЗА России на микропроцессорную элементную базу, относятся:

- отсутствие квалифицированного обслуживающего персонала;
- низкая надежность МП УРЗА;
- высокая стоимость;
- плохая электромагнитная обстановка на большинстве подстанций.

Для временного решения некоторых проблем на ряду с МП комплектами защит устанавливаются их аналоги на электромеханической базе.

За время эксплуатации дорогих зарубежных МП устройств релейной защиты отечественные специалисты не раз встречались со случаями их неправильной работы в российских реалиях [6-8]. Это случается по ряду причин:

1. Для нормального функционирования большинству зарубежных МП терминалов необ-

ходимо низкое импульсное сопротивление в заземляющем контуре. На Западе для таких устройств обычно монтируют свой собственный контур заземления. В России таких требований нет и в контуре заземления наводятся импульсные помехи, которые могут привести к отказу в работе устройств защиты.

2. Современные защиты очень чувствительны к электромагнитным излучениям, которые поступающих от цепей оперативного тока, цепей напряжения и тока. Были случаи ложного срабатывания защиты от помех, создаваемых включенным рядом мобильным телефоном.

3. Недопустимо большие погрешности в установившихся, переходных режимах трансформаторов тока, используемых в России, что мешает удовлетворительно согласовать их работу с микропроцессорными терминалами.

4. Импортные защиты не учитывают особенностей российской энергетики, и защищаемых объектов в том числе.

5. На Западе используется другой подход к построению релейной защиты, например, такие комплексы, как АЧР, САОН вообще отсутствуют, иначе выполняется АПВ и т. д.

Заключение

В связи с развитием электрогенерации установками, работающими от нестабильных источников энергии (ветровые и солнечные станции), необходимо развивать системы управления релейной защиты и автоматики таких энергетических комплексов. Для дальнейшего развития релейной защиты России и перехода на новую элементную базу необходимо учитывать следующие тенденции:

- необходимо работать над исследованием и совершенствованием теории релейной защиты, чтобы активно разрабатывать новые алгоритмы для микропроцессорных защит, более совершенные, по сравнению с их аналогами на ЭМ базе и более старыми МП устройствами, или группы алгоритмов, дополняющих и корректирующих друг друга;
- при разработке новых устройств необходимо делать упор на повышение надежности и эффективности;
- новые защиты должны учитывать особенности схемы и режимов работы защищаемого объекта и должны уметь адаптироваться под них;
- от разрозненных, независимых комплектов защиты на каждом объекте разумно переходить к комплексам защит, которые будут получать и использовать информацию от нескольких смежных защищаемых объектов;
- – вводить в обиход и развивать направление нового измерительного оборудования (например, датчики тока и напряжения), исследовать и применять неэлектрические параметры, характеризующие состояние защищаемого объекта.

Оптимальным решением для защиты особо ответственных силовых объектов может стать установка трёх полноценных комплектов релейной защиты, при условии, что защищаемый объект будет отключаться только при одновременном действии на отключение не менее двух из этих комплектов.

Список литературы

1. Abd Ali L.M., Al-Rufaee F.M., Kuvshinov V.V. et al. Study of Hybrid Wind–Solar Systems for the Iraq Energy Complex // Applied Solar Energy, 2020, vol. 56, no. 4, pp. 284–290.
2. Релейная защита и сетевая автоматика; Жуков А.В; 2018.
3. Анализ работы микропроцессорных устройств РЗА в ЕНЭС России; Кузьмичев В.А., Коновалова Е.В., Захаренков А.Ю.; 2013.
4. Shaw R.N., Walde P., Ghosh A. IOT based MPPT for performance improvement of solar PV arrays operating under partial shade dispersion // 9th Power India International Conference (PIICON), 2020, pp. 1-4.
5. Тепликова В.И., Сенцов А.А., Ненашев В.А., Поляков В.Б. Анализ диаграммы направленности плоской многоэлементной активной фазированной антенной решетки // Труды МАИ. 2022. № 125.
6. Yin O.W., Babu B.C. Simple and easy approach for mathematical analysis of photovoltaic (PV) module under normal and partial shading conditions // Optik - International Journal for Light and Electron Optics, 2018, vol. 169, pp. 48-61.
7. Абдали Л.М., Аль-Малики М.Н., Исса Х.А., Якимович Б.А., Кувшинов В.В. Использование метода отслеживания точки максимальной мощности для увеличения эффективности работы фотоэлектрических установок // Интеллектуальные системы в производстве. 2022. Т. 20. № 4. С. 106-116.
8. Использование солнечной генерации в системе электроснабжения/ Аль Баирмани А.Г., Якимович Б.А., Кувшинов В.В., Энергетические установки и технологии. 2019. Т. 5. № 2. С. 69-73.

References

1. Abd Ali L.M., Al-Rufaee F.M., Kuvshinov V.V. et al. Study of Hybrid Wind–Solar Systems for the Iraq

Energy Complex, Applied Solar Energy, 2020, vol. 56, no. 4, pp. 284–290.
2. Relay protection and network automation; Zhukov A.V; 2018.
3. Analysis of the operation of microprocessor-based relay protection devices in the UNEG of Russia; Kuzmichev V.A., Konovalova E.V., Zakharenkov A.Yu.; 2013.
4. Shaw R.N., Walde P., Ghosh A. IOT based MPPT for performance improvement of solar PV arrays operating under partial shade dispersion, 9th Power India International Conference (PIICON), 2020, pp. 1-4.
5. Teplikova V.I., Sentsov A.A., Nenashev V.A., Polyakov V.B. Trudy MAI, 2022, no. 125.
6. Yin O.W., Babu B.C. Simple and easy approach for mathematical analysis of photovoltaic (PV) module under normal and partial shading conditions, Optik - International Journal for Light and Electron Optics, 2018, vol. 169, pp. 48-61.
7. Abdali L.M., Al'-Maliki M.N., Issa Kh.A., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Intellektual'nye sistemy v proizvodstve, 2022, vol. 20, no. 4, pp. 106-116.
8. The use of solar generation in the power supply system / Al Bairmani A.G., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V., Power plants and technologies. 2019. V. 5. No. 2. S. 69-73.

УДК 620.92

Использование основных элементов солнечных электрических станций для повышения эффективности генерации

Кувшинов В.В.[1], Давиденко Е.Н.[1], Бордан Д.Ф.[1], Березняк В. А.[1], Артеменко И. Д.[1]

[1] *Севастопольский государственный университет, ул. Университетская 33, 299053, Севастополь, Россия VVKuvshinov@sevsu.ru, bordan79@mail.ru, gern96-10@mail.ru, leftysingle@gmail.com*

Статья поступила 06.02.2023 г.; после доработки 07.02.2023 г.

Аннотация

Возможность эффективной работы солнечных электростанций сильно зависит от их основного и вспомогательного оборудования и качества отдельных элементов всей системы. Для уменьшения потерь необходимо подобрать оборудование с необходимыми характеристиками. В предложенной работе был проведен анализ этой проблемы и предложения решения.

Ключевые слова: фотоэлектрическая станция, кремниевые солнечные преобразователи, аккумуляторные батареи, энергетическая система, солнечные батареи.

Use of the main elements of solar power plants to increase generation efficiency

Kuvshinov V.V. [1], Davidenko E.N.[1], Bordan D.F.[1], Bereznyak V.A.[1], Artemenko I.D.[1]

[1]*Sevastopol State University, st. Universitetskaya 33, 299053, Sevastopol, Russia VVKuvshinov@sevsu.ru, bordan79@mail.ru, gern96-10@mail.ru, leftysingle@gmail.com*

Received 06.02.2023 y.; received in final form 07.02.2023 y.

Abstract

The possibility of efficient operation of solar power plants is highly dependent on their main and auxiliary equipment and the quality of individual elements of the entire system. To reduce losses, it is necessary to select equipment with the necessary characteristics. In the proposed work, an analysis of this problem and a proposal for a solution were carried out.

Key words: photovoltaic station, silicon solar converters, rechargeable batteries, energy system, solar batteries.

Введение

Солнечные электростанции (СЭС) в промышленных масштабах, как и в частных случаях, базируется на основных элементах в сборке. Промышленная солнечная электростанция является набором оборудования, а именно солнечные модули, преобразователи, контроллеры и вспомогательное оборудование.

В случае работы солнечной электростанции на объект, с небольшим потреблением, также возможно применить аккумуляторные батареи.

Солнечные панели работают на фотоэлектрическом эффекте преобразованием которого отвечают солнечные элементы, что делятся на три типа: монокристаллические, поликристаллические и аморфные. Несмотря на то, что все типы

элементов основаны на кремнии, КПД разительно отличается, а именно, монокристаллические имеют КПД до 21,5%, поликристаллические — 14–17%, аморфный кремний — 5–8%. Также различные типы солнечных элементов имеют и различный срок службы. Например, у аморфного кремния деградация (обусловлена падением КПД) может наступить уже через 2–5 лет, у поликристаллов гарантийный срок 10-20, а монокристаллы могут не деградировать и более 30 лет. Однако у различных типов и разная себестоимость, наименьшая у аморфного, более высокая у поликристаллического и ещё выше у монокристалла.

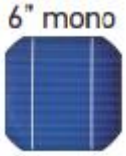
При этом различные производители ставят разную цену и в зависимости от количества (опта), но также по возрастающей. При использовании того или иного типа солнечных кремниевых элементов для строительства электростанций необходимо исходить из рациональности применения данных фотопреобразователей для конкретных солнечных электростанций. Например, в зависимости от мощности (и количества) фотоэлектрических панелей, от места расположения станции (в различных районах по широте и климату), от назначения электростанции (для автономного потребителя, работы на общую или локальную энергосистему и др.) и от типа вспомогательного оборудования, используемого на станции. В представленной работе авторы попытались показать возможность использования различных элементов для фотоэлектрических систем и применение солнечных элементов для наибольшей эффективности преобразования потока солнечной радиации.

Постановка задачи

Схема, формирующая ячейку, фотоэлектрических элементов, имеет вид пластины на которой располагается задний контакт, два слоя кремния разной проводимости, поверх нанесена сетка из металлических контактов, а также антибликовое просветляющее покрытие, которое придает ему, а именно солнечному элементу характерный синий оттенок.

Типовые солнечные элементы и их характеристики, в которых отображается размер, КПД, максимальная мощность, напряжение холостого хода и ток короткого замыкания, приведены в табл. 1 [6].

Таблица 1.3 *Характеристики типовых солнечных элементов*

Тип	Размер ячейки	КПД, %	Максимальная мощность, Вт	Напряжение холостого хода, В	Ток короткого замыкания, А
	156×156	16,4	3,99	0,618	8,27
		15,0	3,65	0,607	7,77
	156×156	17,6	4,21	0,624	8,63
		16,0	3,82	0,613	8,08
	125×125	17,4	2,59	0,621	5,35
		16,0	2,38	0,607	5,08

Солнечные панели являются основной составляющей в СЭС, и играют большую роль, являясь источником генерируемой составляющей электрической энергии. Одна панель не способна перекрыть нужды потребителя из-за малой выработки мощности. Для таких случаев применяется параллельное и последовательное присоединение солнечных панелей, что в свою очередь образуют солнечную батарею (рис. 1).Такой вид сборки позволяет вырабатывать больше электрической энергии, тем самым увеличивает круг применения, а также обосновывает причину появление СЭС.

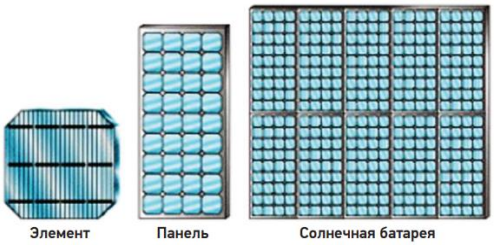


Рис. 1. Солнечная батарея.

Работа солнечной ячейки основано на p-n-переходе. При появлении нагрузки, направление тока и фототока(Iф) совпадает по направлению. Ток нагрузки (Iн) в свою очередь равен результирующему току через p-n-переход. Формула освещающая вольтамперную характеристику можно записать как:

$$U_{н} = \left(\frac{kT}{q}\right)\ln\left(\frac{\left(I_{ф} - I_{н}\right)}{I_{0}} + 1\right), \quad (1)$$

где Uн — напряжение на нагрузке, равное напряжению на p–n-переходе, В; Iн — ток нагрузки, А; I0 — ток насыщения, А; Iф — фототок, А; k — постоянная Больцмана, 1,38·10-23 Дж/К; Т — абсолютная температура, К; q — величина заряда электрона. [8]

Отбираемая максимальная мощность возможна в случае, когда солнечный элемент находится в режиме, отмеченном точкой а на рис. 2.

Максимальная мощность, снимаемая с единицы площади солнечного элемента, вычисляется по формуле 2:

$$P_{\max} = U_{TMM} \cdot I_{TMM} = FF \cdot I_{КЗ} \cdot U_{XX},$$

где Uтмм — напряжение в точке максимальной мощности, В; Iтмм — ток в точке максимальной мощности, А; FF — коэффициент (F-фактор) заполнения вольтамперной характеристики; Iкз — ток короткого замыкания, А; Uxx — напряжение холостого хода, В. [9]

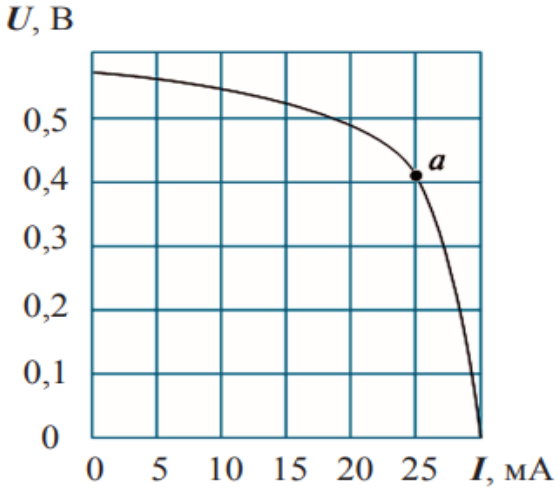


Рис. 2. Вольтамперная характеристика поликремневого солнечного элемента (с 1 см2 рабочей поверхности, при освещенности 800 Вт/м2)

Результаты исследования

Для эффективной работ солнечной электростанции необходимо не только хорошее преобразование солнечной энергии фотоэлементами, но и качественная работа другого оборудования, например инвертора (один из основных элементов солнечной станции).

При его неэффективной работе значительная часть сгенерированной энергии не отправляется потребителю. Потери обусловлены падением напряжения и мощности, а в автономных фотоэлектрических системах с аккумуляторными батареями (АКБ) и запасаемой ёмкости. Сетевой инвертор для солнечных батарей (рис. 3) используется в полнофункциональных солнечных комплексах для преобразования постоянного тока в переменный с одновременным повышением напряжения. Рассмотрим подробнее, зачем нужен инвертор для солнечных батарей для 12 В [10].

Панели преобразуют энергию солнечного света в электрический ток, который через контроллер поступает на аккумуляторную батарею. Она накапливает заряд и отдает его по мере надобности, одновременно пополняя недостаток от солнечных модулей. Однако, пользоваться энергией от аккумуляторов могут лишь немногие приборы потребления, поскольку АКБ выдают постоянный ток низкого напряжения — 12,

24 или (редко) 48 В.

Необходим преобразователь напряжения для солнечных батарей, способный эти показатели превратить в стандартные значения, аналогичные сетевым. Эту задачу выполняет инвертор для солнечных панелей, который получает от аккумуляторов 12 (24, 48) В постоянного тока, а отдает потребителям обычные 220 В переменного.



Рис. 3. Солнечная электростанция

Наиболее распространены обычные инверторы, мощность которых находится в пределах 250-8000 Вт. Габариты таких приборов зависят от величины нагрузки, поскольку мощность обеспечивается дополнительными узлами в конструкции инвертора. Особенности устройства — КПД (в среднем) — 94 %, максимальное значение доходит до 99 %, полное отсутствие радиопомех, стабилизированное выходное напряжение, низкий коэффициент гармоник, температура эксплуатации влияет на качество, поэтому необходимо обеспечивать максимально широкий диапазон, наличие защиты от перегрузок, потери в режиме холостого хода минимальные, наличие защиты от воздействия влаги и механических повреждений. Отсутствие инвертора резко ограничивает возможности солнечных батарей. Они могут только заряжать аккумуляторы, обеспечивать питание для низковольтного освещения или иных специфических приборов. Солнечные инверторы для дома позволяют получить максимальную эффективность от панелей, обеспечить питание для любых бытовых технических устройств [11]. Примечательно, что при соединении трех инверторов в каскад можно получить трехфазное напряжение со стандартными параметрами, способное стать источником для мощных электродвигателей и прочих установок.

Применение инверторов для эффективной работы СЭС

Существует несколько разновидностей сетевых инверторов, которые различаются по некоторым конструктивным характеристикам и назначению. При сборке комплекса солнечных панелей используются различные варианты, которые требуют от владельца правильного понимания специфики и особенностей их работы. Прежде всего, инверторы различают по форме выходного сигнала — синусоидальные, прямоугольные, псевдосинусоидальные. Наиболее предпочтительным вариантом конструкции является синусоидальный инвертор солнечных батарей. Он способен выдать наиболее качественную форму сигнала, оптимальную для всех бытовых приборов, технических и электронных устройств.

Инверторы с прямоугольным сигналом — самые дешевые, но их рекомендуют применять только для простых осветительных приборов. Многие виды бытовой техники от таких источников не могут работать.

Псевдосинусоидальные устройства являются компромиссом между первым и вторым типом, способным работать с любым устройством.

Однако для некоторых чувствительных типов пользователей лучше не использовать их. Кроме того, помехи и шум могут возникать из инверторов псевдосинусных волн [12]. Кроме этого, есть инверторы, предназначенные для работы в разных условиях. Сетевые инверторы используются при одновременном подключении пользователей к централизованной сети электропитания. По первоначальному замыслу, инвертор обеспечивает питание потребителей и переключает их на сетевое потреблении при падении заряда аккумуляторов ниже нормы.

Обычно сетевая энергия используется в течение дня, когда солнечные батареи заряжаются. Ночью происходит переход к автономному источнику питания до тех пор, пока заряд батареи не разрядится. В течение дня возможна передача энергии в сеть, если батареи заполнены. Эта функция также используется, если мощность солнечных панелей значительно превышает потребности дома. За рубежом существуют такие программы и тарифы, где отданная энергия учитывается и оплачивается владельцу солнечной батареи. В нашей стране таких возможностей пока нет, поэтому сетевые инверторы для солнечных электростанций используются только для питания потребителей и переключения режима подачи энергии. Этот вид приборов считается наиболее удачным, поскольку работает с перерывами и обладает высокой долговечностью. Его недостаток состоит в необходимости иметь параллельное подключение к централизованному источнику. Автономный солнечный инвертор представляет собой конвертер, преобразующий ток АКБ в переменное стандартное напряжение. Он работает в постоянном режиме, никакой внешней поддержки нет. Устанавливается между блоком АКБ и конечными потребителями электроэнергии. Если инвертор автономного типа выходит из строя, питание бытовых технических устройств прекращается.

Такая схема предполагает высокие нагрузки, поэтому мощность инвертора подбирается с определенным запасом. Кроме того, необходимо обеспечить параметры инвертора, превышающие пусковой ток наиболее мощного потребителя. Это важно, поскольку пиковое значение способно вывести устройство из строя.

Например, холодильник или кондиционер при запуске превышает рабочую мощность в 10 раз, поэтому иметь определенный запас надо обязательно. Перед покупкой следует выполнить подсчет суммарной мощности всех потребителей и учесть пиковые пусковые нагрузки. Кроме того, надо прибавить запас на компенсацию падения выходной мощности со временем.

Гибридные, или многофункциональные инверторы (рис. 4) сочетают в своей работе все возможности сетевых и автономных приборов. Они считаются лучшим выбором, но их стоимость часто вынуждает пользователей рассматривать другие варианты [13].

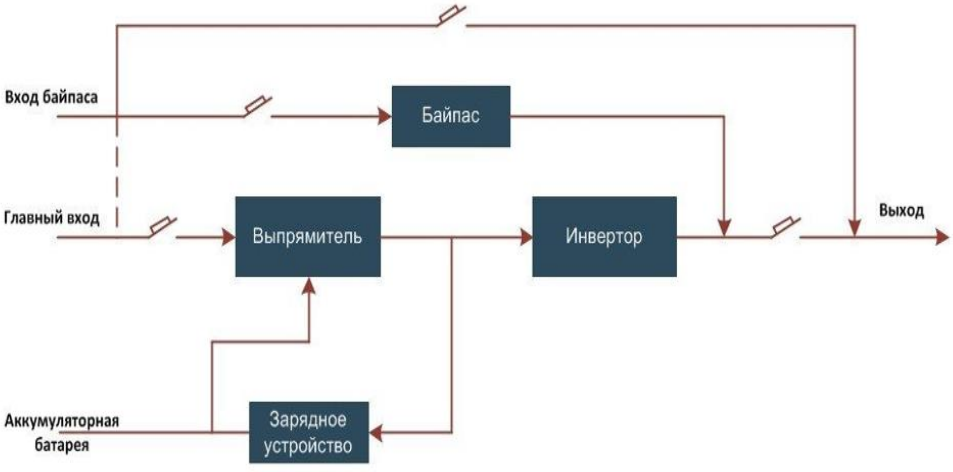


Рис. 4. Многофункциональный инвертор

Эти устройства, применяемые в установке, называют DC/AC инверторами. Они могут применяться как отдельная аппаратура или входить в состав источников бесперебойного питания и систем преобразования электроэнергии. Формирование переменного напряжения осуществляется с помощью транзисторов и ШИМ. Периодическое высокочастотное открывание/закрывание транзисторов в электросхеме обеспечивает изменение направление движения тока и получение синусоиды.

Важно не только то, как работает инвертор

напряжения, но и какую топологию формирования синусоидального сигнала он использует. Есть два основных варианта.

Топология «полумост» со сквозной нейтралью (рис. 5). Она отличается минимальным количеством силовых транзисторов и достаточно простой схемой. К недостаткам относится необходимость применения двухполярного источника электропитания, удвоенное число высоковольтных конденсаторов. Этот вариант используют обычно для не очень мощных нагрузок (0,5-1 кВт).

Мостовая топология. Наиболее распространенная схема в силовых преобразователях. Характеризуется повышенной надежностью, не требует большой входной емкости, обеспечивает минимальные пульсации на транзисторах. К недостаткам относится повышенная сложность драйверов и увеличенное число транзисторов.

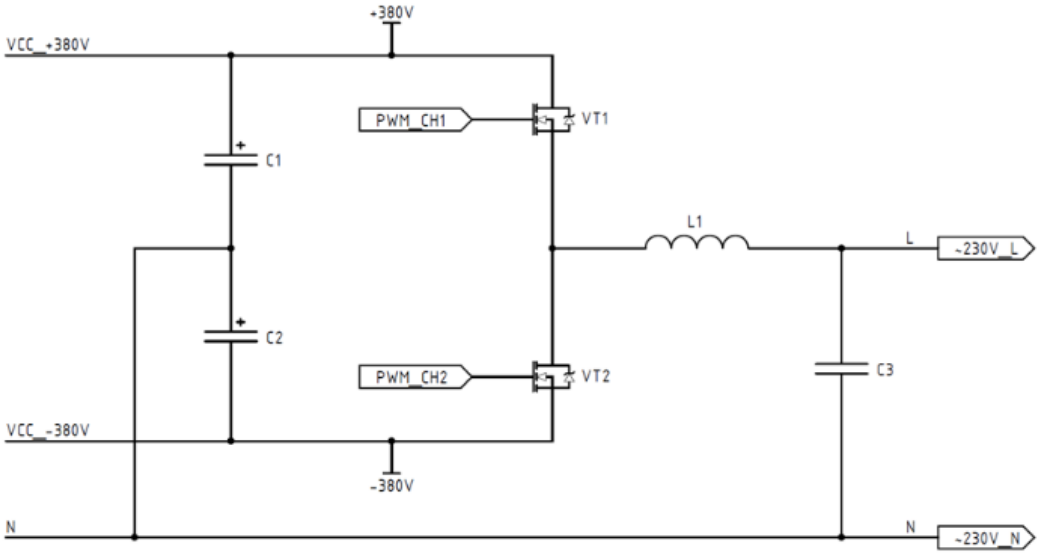


Рис. 5. Топология «полумост» со сквозной нейтралью электротока.

Важнейшими характеристиками инвертора являются частота преобразователя напряжения и форма напряжения. Желательно приобрести аппарат, который выдает чистый синусоидальный сигнал. К такому преобразователю можно подключать даже высокочувствительное оборудование. Также важна и номинальная мощность. Она должна быть выше, чем суммарная нагрузка всех подключенных потребителей. Одной из основных характеристик является максимальная пиковая мощность. Это значение определяет, какую наибольшую нагрузку выдержит устройство при подключении техники с малым значением коэффициента cos ϕ. К такому оборудованию относятся электродвигатели, насосы, компрессоры, которые различаются по значению входного/выходного напряжения и силы

Заключение

Возможности повышения эффективности генерации фотоэлектрической станции во многом зависят как от качественной работы кремниевых панелей, так и от основного и вспомогательного оборудования, используемого солнечной электростанции, работающего для обеспечения конкретных типов потребителей. Проектируемая солнечная электростанция обеспечивает, в рабочие часы, необходимую мощность. Тем самым разгружая основные источники питания или будучи резервным источником питания повышает надежность энергоснабжения. Применяемые солнечные панели и инверторы выбираются на основании необходимости выполнения условия, достичь необходимо вырабатываемого значения мощности. В данной работе был рассмотрен принцип работы DC\AC инверторов, приведен перечень достоинств их применения в цепи солнечных электростанций, функциональные возможности различных моделей. Схема присоединения панелей в батареи, а также сети электростанций с солнечной электростанции выполняется для определенных параметров и также влияет на конечную выработку электрической энергии. Основные компоненты станции, рассматриваемые в данной работе, влияют на качество и выработку электроэнергии, при правильном их подборе можно значительно поднять эф-

фективность работы всей фотоэлектрической системы.

Список литературы

1. Савилов, А. В. Альтернативные источники солнечной энергии в многоквартирном доме / А. В. Савилов, А. А. Петрушкин. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2017. — № 10 (144). — С. 80-85. — URL: https://moluch.ru/archive/144/40288/ (дата обращения: 25.09.2021).
2. Кремневые солнечные батареи: Учебное пособие / А.Я. Глиберман, А.К. Зайцева. - Госенергоатомиздат., 1961. — 74 с.
3. Байерс Т. 20 Конструкции с солнечными элементами: Пер. с англ. — М.: Мир, 1988. - 197 с.
4. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций / Бушуев В.М.[и др.] под редакцией М.Ф. Колканов — М.: Горячая линия. Телеком, 2009. 384 с.
5. Симон, Ж. Молекулярные полупроводники, фотоэлектрические свойства солнечных элементов. / Ж. Симон, Ж.-Ж. Андре. — М.: Мир, 1988. 344 с.
6. Ирвинг М.Г. Источники питания. Инверторы, конверторы, линей-ные и импульсные стабилизаторы / М.: Постмаркет, 2002. — 544 с.
7. Увеличение выработки солнечных электростанций энергосистемы республики Крым и города Севастополя путем повышения эксплуатационных характеристик фотоэлектрического модуля rs250/ Гурьев В.В., Кувшинов В.В., Якимович Б.А., Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2020. Т. 23. № 3. С. 77-83.
8. Использование солнечной генерации в системе электроснабжения/ Аль Баирмани А.Г., Якимович Б.А., Кувшинов В.В., Энергетические установки и технологии. 2019. Т. 5. № 2. С. 69-73.
9. Оптимизация методов прогнозирования вырабатываемой мощности солнечных электростанций в энергосистеме республики Крым и города Севастополя/ Гурьев В.В., Кувшинов В.В, В сборнике: Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность - 2018. сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. под ред. Л. И. Лукиной, Н. А. Бежина, Н. В. Ляминой. 2018. С. 325-327.
10. Костиков В.Г. Источники электропитания электронных средств. Схемотехника и конструирование: Учебник для ВУЗов./ Костиков В.Г. Парфе-нов Е.М. Шахнов В.А. / М.: Горячая линия — Телеком, 2001.— 344с.

References

1. Savilov, A. V. Alternative sources of solar energy in an apartment building / A. V. Savilov, A. A. Petrushkin. - Text: direct // Young scientist. - 2017. - No. 10 (144). - S. 80-85. — URL: https://moluch.ru/archive/144/40288/ (date of access: 09/25/2021).
2. Silicon solar batteries: Textbook / A.Ya. Gliberman, A.K. Zaitsev. - Gosenergoatomizdat., 1961. - 74 p.
3. Byers T. 20 Constructions with solar cells: Per. from English. - M .: Mir, 1988. - 197 p.
4. . Power supply of devices and systems of telecommunications / Bushuev V.M. [and others] edited by M.F. Kolkanov - M .: Hotline. Telecom, 2009. 384 p.
5. 5. Simon, J. Molecular semiconductors, photoelectric properties of solar cells. / J. Simon, J.-J. Andre. — M.: Mir, 1988. 344 p.
6. Irving M.G. Power sources. Inverters, converters, linear and pulse stabilizers / M .: Postmarket, 2002. - 544 p.
7. Increasing the output of solar power plants of the energy system of the Republic of Crimea and the city of Sevastopol by improving the performance of the rs250 photovoltaic module / Guryev V.V., Kuvshinov V.V., Yakimovich B.A., Vestnik of IzhGTU named after M.T. Kalashnikov. 2020. V. 23. No. 3. S. 77-83.
8. The use of solar generation in the power supply system / Al Ba-irmani A.G., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V., Power plants and technologies. 2019. V. 5. No. 2. S. 69-73.
9. Optimization of methods for forecasting the generated power of solar power plants in the energy system of the Republic of Crimea and the city of Sevastopol / Guryev V.V., Kuvshinov V.V., In the collection: Environmental, industrial and energy security - 2018. collection of articles based on materials of international -practical conference. ed. L. I. Lukina, N. A. Bezhina, N. V. Lyamina. 2018. S. 325-327.
10. Kostikov V.G. Sources of power supply of electronic means. Circuitry and design: A textbook for universities. / Kostikov V.G. Parfenov E.M. Shakhnov V.A. / M .: Hot line - Telecom, 2001. - 344s.

УДК 620.92

Методы устранения негативного влияния на энергетические сети работы фотоэлектрических станций

Меджитов М.Р.[1], Фролова А.Н.[1], Кувшинов В.В.[1], Касницкий А.Д.[1], Жильцов А.С. [1]

Севастопольский государственный университет,
ул. Университетская 33, 299053, Севастополь, Россия
mevludmedzhitov@mail.ru,
VVKuvshinov@sevsu.ru, makkas_snab@mail.ru, 29novel@gmail.com

Статья поступила 13.02.2023 г.; после доработки 14.02.2023 г.

Аннотация

Влияние генерирующих солнечных установок на энергетические сети и системы обусловлено непостоянством их работы и невозможностью аккумулирования энергии. В предложенной работе был проведен поиск решений для решений этой проблемы.

Ключевые слова: солнечная электростанция, аккумуляторные батареи, фотоэлектрическая панель, энергетическая система, солнечные батареи**.**

Methods for elimination of the negative impact on the energy networks of the operation of photovoltaic stations

Medzhitov M.R. [1], Frolova A.N. [1], Kuvshinov V.V. [1], Kasnitsky A.D. [1], Zhiltsov A.S. [1]

[1]Sevastopol State University, st. Universitetskaya 33, 299053, Sevastopol, Russia
mevludmedzhitov@mail.ru,
VVKuvshinov@sevsu.ru, makkas_snab@mail.ru, 29novel@gmail.com

Received 13.02.2023 y.; received in final form 14.02.2023 y.

Abstract

The influence of generating solar installations on energy networks and systems is due to the variability of their work and the impossibility of energy storage. In the proposed work, a search was made for solutions to this problem.

Key words: solar power plant, storage batteries, photovoltaic panel, power system, solar batteries.

Введение

Между источником и потребителем существует целый промежуточный комплекс электросетевого оборудования, обеспечивающий подачу электрической энергии на различные нужды. Воздушные, кабельные линии электропередачи, автоматы, предохранители, разъединители, шины, трансформатор напряжения и электроприборы потребителей. Перечисленные элементы находятся под постоянной угрозой нестационарных режимов работы от солнечной электростанции. Нестационарные режимы солнечной электростанции — существенное отклонение производимой мощности, от номинально заданной. Причиной тому является: повышение температуры солнечной панели, где мощность снижается на 15 – 17 %, пасмурная погода, где в зависимости от количества небесных масс, потери мощности составляют 20 – 80 %, временный эффект выражающийся в затемнении рабочей поверхности впереди стоящими установками, где потери мощности составляют 1 – 85%, занесение рабочей области снегом, пылью, а

также различным мусором [1-3]. Уровень сложности оборудования в сфере компьютерных технологий постоянно повышается. Поэтому системы обеспечения качества электроснабжения должны быть разработаны таким образом, чтобы они были способны справиться с широким спектром проблем, начиная от провалов, колебаний, выбросов напряжения, высокочастотных шумов, импульсных помех и заканчивая обеспечением электропитанием при полном отсутствии напряжения промышленной сети. Одну из таких проблем представляют искажения формы напряжения, вызванные гармоническими составляющими тока, потребляемого нелинейной нагрузкой [4-5].

Постановка задачи

Высшие гармоники тока кратные трем (т. е. 3, 9, 15, 21 и т. д.), определяющие высокое значение коэффициента амплитуды и генерируемые однофазными нагрузками, имеют специфическое результирующее воздействие в трехфазных системах. В сбалансированной (симметричной) трехфазной системе гармонические (синусоидальные) токи во всех трех фазах сдвинуты на 120 градусов по отношению друг к другу, и в результате сумма токов в нейтральном проводнике равна нулю. Следовательно, не возникает и падения напряжения на проводнике нейтрали в кабеле.

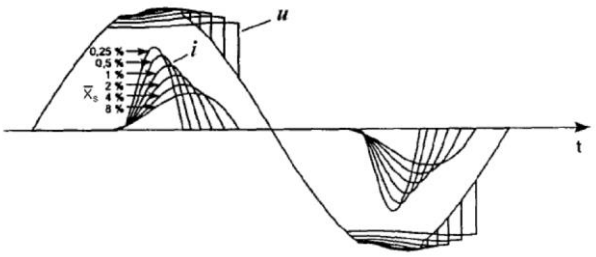


Рис. 1. Формы напряжения и тока на входе однофазного выпрямителя в зависимости от относительной реактивной составляющей

Это утверждение остается справедливым для большинства гармоник. Однако некоторые из них имеют направление вращения вектора тока в ту же сторону, что и основная гармоника (первая, "фундаментальная", т. е. 50 Гц), то есть они имеют прямую последовательность. Другие же вращаются в обратном направлении и, таким образом, имеют обратную последовательность. Это не относится к гармоникам, кратным третьей: n = 3 (2 k + 1) , где k = 0, 1, 2, ...

В трехфазных цепях они сдвинуты на 360 градусов друг к другу, совпадают по фазе и образуют нулевую последовательность. Нечетные гармоники, кратные третьей, суммируются в проводнике нейтрали (рис. 2). В результате, с учетом того, что они составляют большую долю в действующем значении фазных токов, общий ток в нейтрали может превышать фазные токи. Так, например, при фазных токах равных 37 А, ток нейтрали составляет 55 А при частоте, равной 150 Гц [5-7]. Неправильно спроектированные четырехпроводные кабели трехфазных сетей могут перегреваться вплоть до воспламенения, подтверждая тем самым необходимость увеличения сечения проводников нейтрали трехфазных кабелей сети электропитания компьютерного оборудования. Гармоники, кратные третьей, приводят к падениям напряжения как в нейтрали, так и в фазных проводниках, вызывая искажения формы напряжения на других нагрузках, подключенных к этой сети.

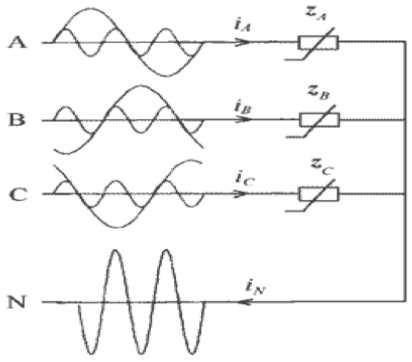


Рис. 2. Процесс формирования тока нейтрали при нелинейной нагрузке

При наличии высших гармоник в электрических цепях со сосредоточенными и распределенными параметрами, какими могут быть представлены блоки, узлы и распределительные сети системы электропитания, возникает опасность появления резонансных явлений. При возникновении резонансного или близкого к нему режима на какой-либо высшей гармонике тока или напряжения эта составляющая оказывается больше, чем амплитудное значение первой гармоники тока (напряжения) на тех же участках цепи. Это отрицательным образом может отразиться на работоспособности отдельных элементов и узлов системы.

Возможные методы решения проблемы

Различные методы могут использоваться, чтобы попытаться ослабить влияние проблем, вызываемые высшими гармониками тока при нагрузках с высоким значением коэффициента амплитуды. В первую очередь необходимо добиться, насколько это возможно, сбалансированности нагрузок по фазам. При этом обеспечивается минимальный ток в проводнике нейтрали и минимальное содержание гармоник в выходном напряжении источника бесперебойного питания (ИБП). Соответствующие схемы контроля и управления в ИБП будут поддерживать номинальное действующее значение выходного напряжения, в то же самое время стремясь обеспечить его синусоидальную форму. Не всегда возможно одновременно выполнить обе эти функции. В общем случае несбалансированная нагрузка воздействует на напряжение, вызывая его искажение. Хотя оно и относительно мало по величине, но также добавляется к общим искажениям в кабеле. Обычно преобладают те искажения напряжения, которые сгенерированы в распределительной сети. Одним из рациональных способов симметрирования однофазных нагрузок в трехфазной сети является использование ИБП с двойным преобразованием энергии при трехфазном входе и однофазном выходе (3ф / 1ф). В этом случае разгружается нейтраль, т. к. она не участвует в работе трехфазного выпрямителя на входе ИБП, находящейся в нормальном режиме преобразования напряжения. Однако этот эффект пропадает при переходе ИБП на режим Bypass. Включение в систему разделительного трансформатора с обмотками «треугольник-звезда». Этот метод использовался на практике, но не всегда с успехом [2,5]. Предполагалось, что в этом случае трансформатор не пропускает гармоники, кратные третьей, и что отсутствие проводника нейтрали на стороне первичной обмотки исключает падение напряжения на нейтрали. Но такое утверждение оказалось правильным лишь частично. Сбалансированные гармоники, кратные третьей, наводят соответствующие магнитные потоки в стержнях сердечника трансформатора и, если они равны по величине и совпадают по фазе, то напряжения, наведенные в первичной обмотке, будут скомпенсированы. Кроме этого, любой трансформатор имеет индуктивность рассеяния, которая добавляется к существующему полному входному сопротивлению распределительной сети. Это может оказывать эффект уменьшения коэффициента амплитуды тока нагрузки и суммарного значения коэффициента искажений синусоидальности тока. Однако искажение напряжения увеличивается, а достижимое максимальное значение напряжения постоянного тока для питания инвертора ИБП снижается.

Результаты исследований

Таким образом, можно сделать вывод, что основными формами воздействия высших гармоник на системы электроснабжения являются: увеличение напряжений и токов при работе солнечных электрических станци (СЭС) вследствие возникновения резонансов на частотах гармоник; снижение эффективности процессов генерации, передачи, распределения, преобразования и потребления электроэнергии; старение изоляции электрооборудования, что влечет за собой повышенный износ и сокращение срока службы; ложные срабатывания устройств релейной защиты и автоматики. Для иллюстрации одного из негативных влияний высших гармоник, а именно искажения формы кривой напряжения, рассмотрим следующий пример. В качестве исходных данных и упрощения теоретических выкладок рассмотрим систему электроснабжения, изображенную на рис. 3, потребители которой (S1 и Sнн) получают питание от генератора через трансформатор по кабельной линии. Отметим, что потребитель S1 является спокойной (линейной) нагрузкой, а потребитель Sнн — нелинейная нагрузка (12-пульсный выпрямитель).

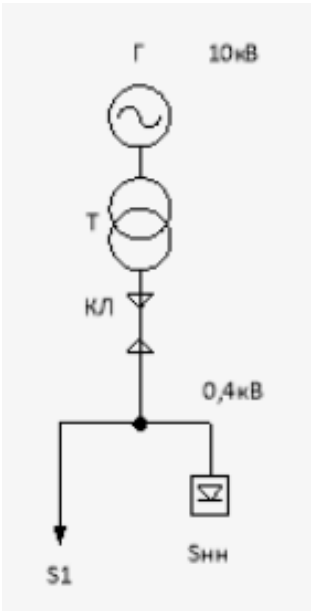


Рис. 3. Схема СЭС

Для создания имитационной модели составляются схемы замещения СЭС (рис. 1), используем схемы представленные на рис. 4, на основной частоте (рис. 4, а) и на частотах высших гармоник (ВГ) (рис. 4, б) [3-5].

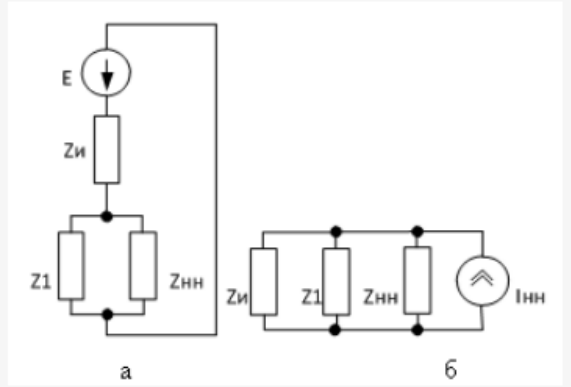


Рис. 4. Схема замещения на основной (а) и высших (б) гармониках

При составлении схемы замещения на основной гармонике (50 Гц) принимаются следующие допущения, позволяющие упростить решение задачи. Генератор и понижающий трансформатор представляется источником ЭДС напряжением 0,38 кВ и комплексным сопротивлением источника Zи, равным 106 Ом. Линейная и нелинейная нагрузки представляются комплексными сопротивлениями. Модуль комплексного сопротивления линейной нагрузки составляет Z1=24768 Ом, а нелинейной — зависит от частоты (т. е. оно различно для каждой из гармоник). Схема замещения на высших гармониках представляет собой источник тока, комплексные сопротивления всех нагрузок и внутренне сопротивление источника тока (причем схем замещения существует столько, сколько у нас гармоник в сети; покажем для краткости одну из них, так как остальные схемы замещения аналогичны рассматриваемой, отличаются они только параметрами). Частота источника тока равна произведению основной частоты на номер соответствующей гармоники сети, т. е. I11=11·50=550 Гц, I13=13·50=650 Гц и т. д. для каждой гармоники.

Заключение

Нестационарные режимы работы солнечной электростанции, связанные с пасмурной погодой при анализе, выявили падение КПД, вуалируемое от 20 до 80%, от максимальной вырабатываемой мощности. Что приводит к негативным скачкообразным уровням приводящие к разрушению и ухудшению работы электроприборов. Путем математического моделирования было выявлено уменьшение срока службы изоляции кабельных линий на 20% от гарантируемого времени эксплуатации. Были приведены фильтра высоких и низких частот позволяющие уменьшить негативное влияние.

Список литературы

1. Использование солнечной генерации в системе электроснабжения/ Аль Баирмани А.Г., Якимович Б.А., Кувшинов В.В., Энергетические установки и технологии. 2019. Т. 5. № 2. С. 69-73.
2. Костиков В.Г. Источники электропитания электронных средств. Схемотехника и конструирование: Учебник для ВУЗов./ Костиков В.Г. Парфе-нов Е.М. Шахнов В.А. / М.: Горячая линия — Телеком, 2001.— 344с.
3. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей: Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1983. 2. СНиП 2.08.02. – 89. Общественные здания и сооружения / Госстрой СССР, М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 40 с.
4. Исследование потерь фотоэлектрических солнечных систем при работе в условиях частичного затенения Кузнецов П.Н., Абдали Л.М., Кувшинов В.В., Мохаммед, Х.Дж., Аль-Байрмани, А.Г. Журнал прикладной инженерной науки, 2020, 18(3), С.313-330 10.
5. Shaw, R. N., Walde, P., & Ghosh, A. IOT based MPPT for performance improvement of solar PV arrays operating under partial shade dispersion. In 2020 IEEE 9th Power India International Conference (PIICON),2020, pp. 1-4.
6. Справочник по полупроводниковым приборам / В.Ю. Лавриненко – Киев: Техника, 1984.
7. Алферов Ж.И., Андреев В.М. Перспективы фотоэлектрического метода преобразования солнечной энергии Преобразование солнечной энергии. / Под ред. Н.Н. Семенова. – Черноголовка: ИХФ АН СССР, 1981. – 20 с 8.

References

1. The use of solar generation in the power supply system / Al Bairmani A.G., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V., Power plants and technologies. 2019. V. 5. No. 2. S. 69-73.
2. Kostikov V.G. Sources of power supply of electronic means. Circuitry and design: A textbook for universities. / Kostikov V.G. Parfenov E.M. Shakhnov V.A. / M .: Hot line - Telecom, 2001. - 344s.
3. Raushenbakh G. Handbook for the design of solar panels: Per. from English. Moscow: Energoatomizdat, 1983. 2. SNiP 2.08.02. - 89. Public buildings and structures / Gosstroy of the USSR, M .: CITP

Gosstroy of the USSR, 1990. - 40 p.
4. Handbook of semiconductor devices / V.Yu. Lavrinenko - Kyiv: Technique, 1984.
5. Alferov Zh.I., Andreev V.M. Prospects for the photoelectric method of converting solar energy Converting solar energy. / Ed. N.N. Semenov. - Chernigov: Institute of Chemical Physics of the Academy of Sciences of the USSR, 1981. - 20 p. 8.
6. Investigation of losses of photovoltaic solar systems during operation in conditions of partial shading Kuznetsov P.N., Abdali L.M., Kuvshinov V.V., Mohammed, H.J., Al-Bayrmani, A.G. Journal of Applied Engineering Science, 2020, 18(3), pp.313-330 10.
7. Shaw, R. N., Walde, P., & Ghosh, A. IOT based MPPT for performance improvement of solar PV arrays operating under partial shade dispersion. In 2020 IEEE 9th Power India International Conference (PIICON),2020, pp. 1-4.

УДК 620.92

Исследование методов внедрения возобновляемых источников энергии для снижения потребления собственных нужд магистральных распределительных подстанций

Чепенюк А.А.[1], Скидан А.А.[2]
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская 33, 299053, Севастополь, Россия,
[1]eingog@gmail.com, [2]a.a.skidan@mail.sevsu.ru

Статья поступила 10.02.2023 г; после доработки 13.02.2023 г.

Аннотация

Применение генерации солнечных фотоэлектрических модулей, гелиоколлекторов и ветроэнергетических установок при проектировании и реконструкции распределительных магистральных подстанций. Эти установки представляют собой комбинированную систему производства электрической и тепловой энергии за счет прямого и опосредованного преобразования потока солнечной радиации и перемещения воздушных масс в атмосфере.

Ключевые слова: гелиоколлектор, фотоэлектрический модуль, трекер слежения, технологический режим, собственные нужды, ветроэнергетическая установка.

Study of methods for the introduction of renewable energy sources to reduce the consumption of own needs of the main distribution Substations

Chepenyuk A.A.[1], Skidan A.A. [2]
"Sevastopol State University", st. Universitetskaya 33, 299053, Sevastopol, Russia,
[1]eingog@gmail.com, [2]a.a.skidan@mail.sevsu.ru

Received 10.02.2023 y.; received in final form 13.02.2023 y.

Abstract

Application of generation of solar photovoltaic modules, solar collectors and wind power plants in the design and reconstruction of distribution main substations. These units are a combined system for the production of electrical and thermal energy through direct and indirect conversion of the solar radiation flux and the movement of air masses in the atmosphere.

Key words: solar collector, photovoltaic module, tracking tracker, technological regime, auxiliary needs, wind power plant

Введение

В энергетических системах распределительные подстанции высокого напряжения 35 кВ, 110 кВ, 220 кВ, 330 кВ, 500 кВ и др., оборудованы системами внутреннего обеспечения электроэнергией – «системами собственных нужд» (СН ПС). Для этого на подстанции существуют понижающие трансформаторы собственных нужд –«ТСН».

На подстанции с классом напряжения 330 кВ часто применяют три трансформатора собственных нужд ТСН-1, ТСН-2, ТСН-3.

Рассмотрим способ снижения потребления СН ПС с помощью возобновляемых источников

энергии (ВИЭ) [1]. Внедрение ВИЭ в СН ПС повышает уровень надежности электроснабжения одновременно с традиционными автономными источниками электроэнергии. Комбинирование ветряной и солнечной генерации особенно эффективно в контексте круглогодичного потребления.

ВИЭ характеризуются высокой неравномерностью выработки мощности в зависимости от времени суток и погодных условий. График выработки мощности ветряных электростанций (ВЭС) и солнечных электростанций (СЭС) обычно не совпадает с графиком нагрузки потребителей, вследствие чего технически обоснованным является применение систем накопления электрической энергии (СНЭЭ) [2].

Интеграция ВИЭ в имеющуюся систему СН переменного тока возможна в виде замены питания одной из секций щита СН от трансформаторов собственных нужд (ТСН) на питание от системы генерации, функционирующей на базе ВИЭ (при сходной мощности системы ВИЭ и ТСН, питание от ТСН в этом случае полностью заменяется генерацией, функционирующей на базе ВИЭ). При этом необходимо, чтобы система генерации, функционирующая на базе ВИЭ, интегрируемая в систему СН переменного тока, полностью резервировалась иным источником мощности (внешняя электрическая сеть, генерация на традиционном топливе, накопитель энергии). Интеграция ВИЭ в имеющуюся систему СН переменного тока также возможна в виде дополнения питания одной из секций щита СН от системы генерации, функционирующей на базе ВИЭ (при этом секций щита СН запитана одновременно от ТСН и от генерации, функционирующей на базе ВИЭ).

Интеграция ВИЭ позволяет экономить электрическую энергию, расходуемую на нагрев воды в системе горячего водоснабжения (ГВС) и отопления обще подстанционного пункта управления подстанции (ОПУ).

Постановка задачи исследования

Задача анализа методов внедрения ВИЭ в СН ПС состоит в изучении свойств и эффективности системы в зависимости от структуры технологических связей между отдельными ее объектами, а также от конструкционных и технологических параметров системы и параметров технологических режимов установок.

К конструкционным параметрам относятся: количество фотоэлектрических модулей, способы установки (стационарно или с системой слежения), параметры системы накопления электрической энергии, характеристики ветроэнергетический установки, количество и тип гелио коллекторов.

Технологическими параметрами аппаратов являются номинальная мощность ветроэнергетической установки, скорость вращения ротора ВЭУ, интенсивность преобразования энергии.

Параметры технологических режимов оборудования – это уровень инсоляции, угол установки фотоэлектрических модулей, угол атаки лопастей ветроэнергетической установки, суточный расход электроэнергии собственных нужд подстанции.

Основная задача анализа внедрения ВИЭ заключается в том, чтобы математически связать характеристику состояния системы (значения полученной электроэнергии) с параметрами и характеристиками состояния аккумулирующего устройства в зависимости от структуры технологических связей между ними в энергетической системе [4].

В ближайшее годы, системы, использующие лишь фотоэлектрическое, или только тепловое преобразование солнечной энергии достигнут своих предельных характеристик. Именно поэтому новые комплексы, использующие одновременно оба типа преобразования, как альтернатива традиционных установок, представляют все больший интерес для разработчиков новых технологий [5]. Переход на комбинированные системы означает переход на новую ступень развития технологии гелиотехники с более высокими характеристиками системы.

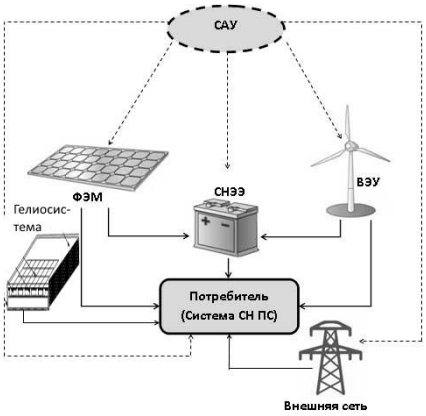


Рис.1. Схема внедрения ВИЭ в энергосистему

Таблица 1. *Состав проектируемой энергетической установки*

№ п.п.	Наименование	Количество
1.	ФЭС (стационарная ОК) в составе:	1 комплект
1.1.	Фотоэлектрические модули двусторонние гетероструктурные пиковой мощностью 380 Вт	60 шт.
1.2.	Опорные конструкции для размещения на земле для крепления шт. ФЭМ	1 шт.
1.3.	Инверторное оборудование сетевое номинальной мощностью 20 кВт	1
2.	ФЭС с ОКСС (ОС) в составе:	1 комплект
2.1.	Фотоэлектрические модули двусторонние гетероструктурные пиковой мощностью 380Вт	40 шт.
2.2.	Опорная конструкция для крепления ФЭМ с функцией слежения за солнцем (одноосевая) с набором датчиков	1 шт.
2.3.	Инверторное оборудование сетевое номинальной мощностью 12.5 кВт	1 шт.
3.	ФЭС с ОКСС (ДС) в составе:	1 комплект
3.1.	Фотоэлектрические модули двусторонние гетероструктурные пиковой мощностью 380 Вт	35 шт.
3.2.	Опорная конструкция для крепления ФЭМ с функцией слежения за солнцем (двухосевая) с набором датчиков	1 шт.
3.3.	Инверторное оборудование сетевое номинальной мощностью 12.5 кВт	1 шт.
4.	СНЭ в составе:	1 комплект
4.1.	Двунаправленное преобразовательное оборудование номинальной мощностью 5кВт	3 шт.
4.2.	Литий-железофосфатные АКБ 12,8V/200Ah, в комплекте с системой контроля и управления, комплектом болтов, межэлементых перемычек	4 шт.
4.3.	Стойка сборная для АКБ	1 шт.
4.4.	Щит постоянного тока с защитно-коммутационным оборудованием	1 шт.
5.	ВЭУ в составе:	1 шт.
5.1.	Ветрогенератор номинальной мощностью 5 кВт	1 шт.
5.2.	Башня	1 шт.
5.3.	Инверторное оборудование сетевое номинальной мощностью 5 кВт	1 шт.
6.	Система мониторинга и метеостанция, в составе	1 комплект
6.1.	Панель визуализации и контроля параметров	1 шт.
6.2.	Контроллер сбора данных метеодатчиков	1 шт.
6.3.	Анемометр	1 шт.
6.4.	Датчик температуры окружающего воздуха	1 шт.
6.5.	Датчик температуры ФЭМ	1 шт.

6.6.	Датчик потока солнечного излучения	1 шт.
7.	СМиУ ВИЭ	1 комплект
7.1.	АРМ СМИУ (ПО MASTER SCADA, ПО CMT viewer)	1 шт.
7.2.	контроллер Modicon M241	1 шт.
7.3.	Операторская панель Weintek MT8150XE 15	1 шт.
7.4.	Сервер HMI Weintek cMT-SVR-102	1 шт.
7.5.	Коммуникационный модуль TM4- 4	1 шт.
7.6.	Конвертер протокола Modbus МКОН-24	1 шт.
7.7.	Устройство сбора данных ЭНКМ-3	1 шт.
7.8.	Устройство синхронизации времени ЭНКС-2	1 шт.
7.9.	Управляемый коммутатор DIS-100E-8W	1 шт.
7.10.	блок питания NDR-240-24	1 шт.
7.11.	контроллер заряда батарей DR-UPS40	1 шт.
7.12.	аккумуляторных батареи DTM 12045	2 шт.
7.13.	выключатель нагрузки двухполюсный ВА47-60 2Р 10А 6кА	1 шт.
7.14.	выключатель автоматический однополюсный ВА47-29 1Р 6А 4,5кА	1 шт.
7.15.	релейные модули PLC-RPT-24DC/21-21	24 шт.
8.	Система мониторинга собственных нужд	1 комплект



Рис.2. Фото применяемых энергетических установок

Основным генерирующим оборудованием ГЭУ ВИЭ являются фотоэлектрические модули и ВЭУ, которые производят постоянный ток, преобразуемый сетевыми инверторами в переменный для приоритетного питания потребителей. СНЭ служит для накапливания части энергии, производимой ФЭМ и ВЭУ для питания потребителей в ночные часы, когда выработка на СЭС отсутствует.

Сводные результаты мониторинга произведенной электроэнергии опытным образцом ВИЭ представлены на рисунках 4-5. Здесь же представлен суммарный отчетный расход на собственные нужды ПС.

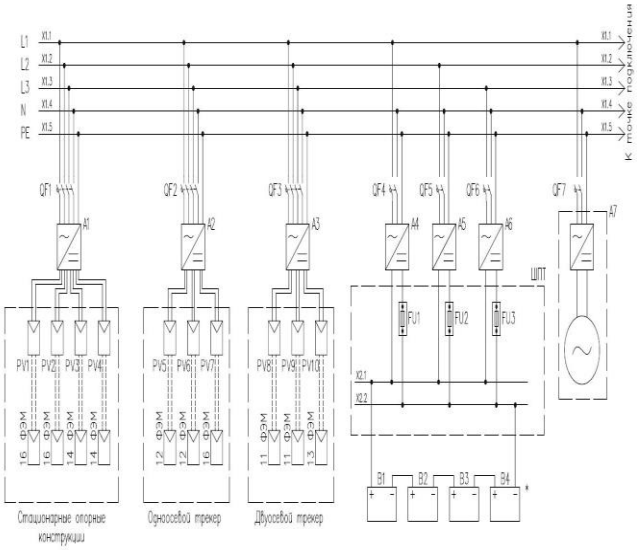


Рис.3. Схема однолинейная ГЭУ ВИЭ

В целом в зависимости от периода опытный образец компенсирует от 20% до 5% расхода расходом электроэнергии СН ПС ПС 330 кВ. В отдельные солнечные часы в июле при низком потреблении электроэнергии токоприёмниками СН ПС Астрахань опытный образец полностью покрывал необходимую мощность нагрузки [6].

В соответствии с техническим решением наибольшей мощностью обладает составной элемент ВИЭ – ФЭМ на стационарной опорной конструкции и за весь период ОПЭ данный элемент произвел наибольшее количество электроэнергии – 47% от суммарной выработки (рисунок 6).

На рисунке 7 представлена оценка удельной выработки электроэнергии элементами ФЭМ на 1 фотоэлектрический модуль. Из рисунка видно, что, не смотря на наличие функции слежения за солнцем у трекеров составных элементов ФЭМ_оо и ФЭМ_до наибольшее удельное значение по производству электроэнергии в каждом периоде достигается ФЭМ_ст, с креплением на стационарной конструкции.

Результаты исследования

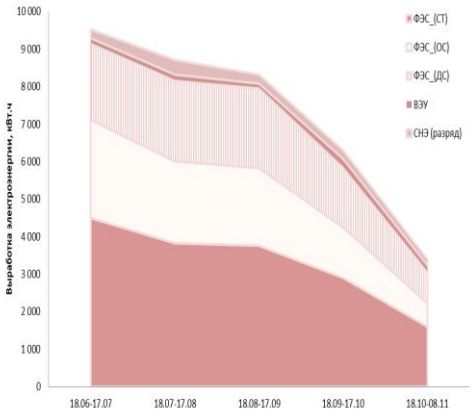


Рис.4. Динамика произведенной электроэнергии ОО ВИЭ по составным элементам

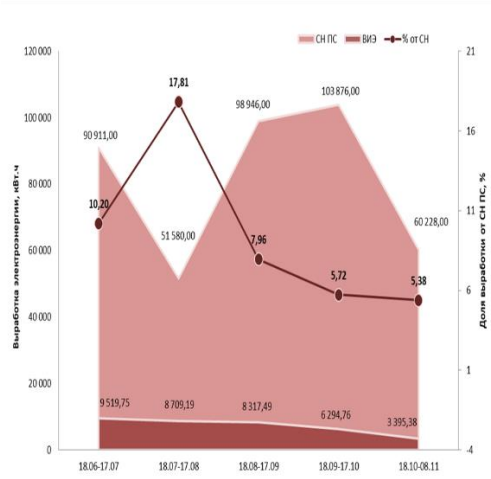


Рис.5. Динамика произведенной электроэнергии ОО ВИЭ в сравнении с отчетным расходом электроэнергии СН ПС ПС 330 кВ

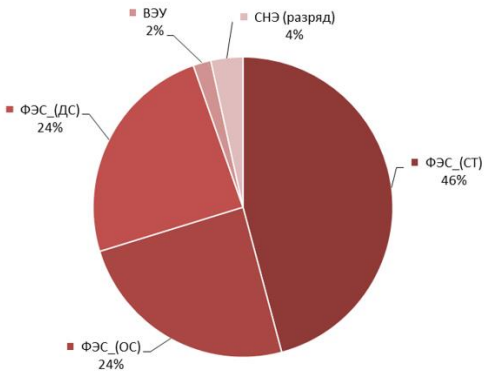


Рис.6. Структура произведенной электроэнергии ОО ВИЭ

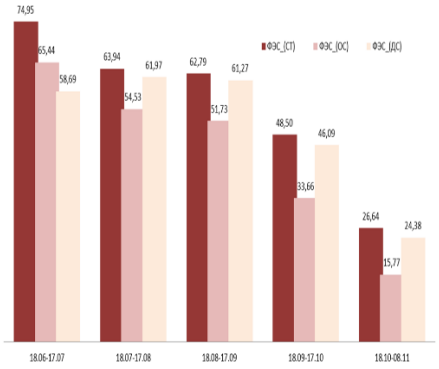


Рис.7. Оценка удельной выработки электроэнергии элементами ФЭМ на один фотоэлектрический модуль, тыс. кВт.ч на модуль

В целом в зависимости от периода данная энергоустановка способна компенсировать от 20% до 5% расхода электроэнергии СН ПС ПС 330 кВ. В отдельные солнечные часы в июле при низком потреблении электроэнергии токоприёмниками СН ПС энергоустановка полностью покроет необходимую мощность нагрузки [7].

Выводы

Опытный образец ВИЭ предназначен для электроснабжения собственных нужд среднестатистической ПС 330 кВ напряжением переменного тока с применением фотоэлектрических модулей, инверторного оборудования, ветроэнергетической установки и системы накопления электроэнергии на базе литий-ионных аккумуляторных батарей. Её применение позволит снизить расход электроэнергии на собственные нужды подстанции.

Преимуществами такой реализации являются: существенное снижение зависимости от

погодных условий за счет разных используемых ресурсов и за счет применения функции накопления энергии; возможен автономный режим работы; возможность выступать в качестве гарантированного источника электроснабжения в ограниченном временном диапазоне (до суток); возможность выступать в качестве источника бесперебойного питания и подключения к электрической сети на постоянном напряжении.

Не смотря на малую мощность проектируемой энергетической установки в летние периоды, когда инсоляция высокая, а потребление электроэнергии на СН ПС снижается, процент покрытия сгенерированной электроэнергии существенен и достигает за рассматриваемый период в пять месяцев 8,87% от собственных нужд. В первые два периода процент покрытия составил 10,2% и 17,8% соответственно.

В отдельные часы ОО ВИЭ полностью «покрывает» необходимую нагрузку СН ПС.

Не смотря на наличие функции слежения за солнцем у трекеров составных элементов ФЭМ_оо и ФЭМ_до наибольшее удельное значение по производству электроэнергии в каждом периоде достигается ФЭМ_ст, с креплением на стационарной конструкции.

Список литературы

1. Патент на полезную модель №179500. Солнечный трубчатый вакуумный коллектор / Муровский С.П., Купленый В.О., Муровская А.С.; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»)//- 2018, F24J 2/24
2. Полухин С.В., Калинкина М.А. Опытно промышленное внедрение ВИЭ // Волгоградэнергосетьпроект http://vesp.ru/publish/vie/
3. Муровский С.П. Разработка программы расчета системы горячего водоснабжения и поддержки отопления с применением плоских солнечных коллекторов // С. Муровский, К. Иванова, С. Иванов / Motrol, Motorization and power indastry in agriculure.- Lublin, Volume 11B, 2009.
4. Панцхава А.С. Биоэнергетика. Мир и Россия. Биогаз. Теория и практика. Монография. – М.: Издательство «Русайнс», 2015. – 972 с.
5. Баадер Б., Доне Е., Брендерфер М. Биогаз: Теория и практика. - М.: Колос. - 1982. –148с.

References

1. Patent for utility model No. 179500. Solar tubular vacuum collector / Murovsky S.P., Purchased V.O., Murovskaya A.S.; applicant and patent holder FGAOU HE “KFU named after V.I. IN AND. Vernadsky")//- 2018, F24J 2/24
2. Polukhin S.V., Kalinkina M.A. Pilot industrial introduction of RES // Volgogradenergosetproekt http://vesp.ru/publish/vie/3. Murovsky S.P. Development of a program for calculating a hot water supply system and heating support using flat solar collectors // S. Murovsky, K. Ivanova, S. Ivanov / Motrol, Motorization and power industry in agriculure.- Lublin, Volume 11B, 2009.
3. Pantskhava A.S. Bioenergetics. World and Russia. Biogas. Theory and practice. Monograph. - M .: Publishing house "Rusigns", 2015. - 972 p.
4. Baader B., Done E., Brenderfer M. Biogas: Theory and practice. - M.: Kolos. - 1982. -148s.

УДК 620.92

Способ решения задачи освещения пешеходной зоны с помощью фотоэлектрической системы

Чепенюк А.А.[1], Скидан А.А.[2]
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская 33, 299053, Севастополь, Россия,
[1]eingog@gmail.com, [2]megadaniil2018@mail.ru

Статья поступила 13.02.2023 г.; после доработки 14.02.2023 г.

Аннотация
Рассмотрены вопросы применение мелкогабаритных фотоэлектрических генерирующих станций для освещения пешеходных дорожек. Применение фотоэлектрических панелей позволяет независимо от общей сети обеспечивать электроснабжение и освещение. Таким образом предложенная система является резервным источником генерации электричкой энергии.

Ключевые слова: солнечная станция, фотоэлектрический преобразователь, солнечная энергия, системы светодиодного освещения, слежение за точкой максимальной мощности.

A method for solving the problem of lighting the of the Sevastopol State University using renewable energy sources

Chepenyuk A.A.[1], Skidan A.A. [2]
FGAOU VO "Sevastopol State University", st. Universitetskaya 33, 299053, Sevastopol, Russia,
[1]eingog@gmail.com, [2]megadaniil2018@mail.ru

Received 13.02.2023 y.; received in final form 14.02.2023 y.

Abstract
The issues of using small-size photovoltaic generating stations for lighting pedestrian paths on the territory of the Sevastopol State University are considered.

Keywords: solar station, photovoltaic converter, solar energy, LED lighting systems, Maximum Power Point Tracking.

Введение

Одним из наиболее актуальных способов решения задачи освещения пешеходной дорожки, ведущей к Севастопольскому Государственному Университету, протяжённостью порядка 900 метров, является применение мелкогабаритных фотоэлектрических генерирующих станций.

Пешеходная дорожка от остановки маршрутного транспорта «Студгородок» до главного корпуса Севастопольского Государственного Университета пользуется большой популярностью у студентов, преподавателей и сотрудников университета и из-за своей протяженности с юга на север, обдуваемая встречным морским ветром в зимнее время, получила название «Дорога жизни». Опоры освещения, установленные во времена СССР со временем, пришли в негодность, и на данный момент освещение фактически отсутствует. В университете некоторые занятия проводятся в позднее темное время суток в

18-00 и 20-00 и данная проблема нуждается в решении. В данной статье предлагается произвести внедрение возобновляемых источников энергии для реализации данного проекта. Фотоэлектрические пункты освещение на новых опорах способны осветить пешеходную дорожку согласно нормам СНИП "СП 52.13330.2016. Свод правил. «Естественное и искусственное освещение».



Рис.1. Территория с недостаточным освещением

Актуализированная редакция СНиП 23-05-95"

(утв. Приказом Минстроя России от 07.11.2016

N 777/пр) (ред. от 28.12.2021) Пункт 4. «Тротуары, отделенные от проезжей части дорог и улиц, основные проезды микрорайонов, подъезды, проходы и центральные аллеи детских, учебных и лечебно-оздоровительных учреждений» Средняя освещенность (Ecp), лк не менее 4, Распределение освещенности (Емин / Ecp) не менее 0,2 [1].

Постановка задачи исследования

В ходе работы был проведен анализ фото электрических установок, разработанных и применяемых в различных научных учреждениях.

Замысел создать независимую от сетевых источников систему наружного освещения, которое будет само обеспечивать себя электроэнергией, привлекателен и весьма заманчив. Возникает комплекс осветительных приборов, созданный на совершенно иных принципах и создающий новые возможности.



Рис.2. Осветительная опора

Поскольку соединения с линией электропитания у светильников не имеется, отпадает необходимость в привязке к одному месту. Отпадает потребность в большом количестве дорогостоящего кабеля [2].

Однако, рассматривая автономную систему освещения, нельзя видеть только положительные стороны от ее использования. Необходимо учесть, что каждый светильник должен обладать собственным комплектом солнечных батарей и накопительной емкостью, позволяющей лампе работать на протяжении всего темного времени суток. Чем оно длительнее, тем мощнее должны быть аккумуляторы и больше площадь фотоэлементов, что усложняет конструкцию и делает ее значительно дороже. В результате может получиться ситуация, когда создание автономной системы окажется значительно дороже, чем монтаж стационарной линии.

Таким образом необходимо найти оптимальный баланс стоимости оборудования и мощностных характеристик.

Таблица 1. *Перечень оборудования и строительных материалов, необходимых для монтажа и освещения диагонали и парадной лестницы*

№	Строительные материалы и оборудование	Вес, погонаж	10
1	Грунт-эмаль быстр/сох Чер 0,9кг/Раскрас/	0,9кг	10
2	Труба проф. 60*60*3	6м	30
3	Труба проф. 40*20*2	6м	20
4	Электроды АТ-ЛАНТф3мм	1кг	6

5	Электроды АТ-ЛАНТф2мм /Тольятти/	1 кг	6
6	Обезжириватель универсальный (0.5 л)	0.5 л	3
7	Кисть плоская № 50 мм		2
8	Iek СДО 06-20 - светодиодный прожектор LED 20 Вт. 1600 Лм. 6500К холодный белый свет.		
9	Коробка распределительная для наружного монтажа, IP54. Размер 88 х 88 х 40 мм, материал полиэтилен, цвет серый		10
10	Коробка У-996 (200*200*100) IP54 [КО7001201] сталь		10
11	Прожектор светодиодный Gauss Elementary 10W 780lm IP65 6500K черный		26
12	Солнечная батарея One-Sun OS-250M Монокристаллическая 6 BB, PERC Срок службы не менее 25 лет. КПД 20,7% Гарантия 10 лет 1530x760x35 мм		15
13	Кабель 3х2,5 ВВГ НГ LS 300м		3
14	Гофра труба 20 мм		3
15	АКБ Аккумулятор Delta Batery GEL 100 Ач 12 v		32
16	Садово-парковый фонарь Fumagalli Ricu/G300 G30.157.000.AXE27, Черный и Прозрачный		6
17	Контроллер заряда SRNE SR-MC48100H 100A		2
18	Проводники увеличенного сечения для сборки схемы заряда акб		1
19	Инвертор 12в-220в 2квт		2

Чтобы рассчитать необходимую мощность солнечных батарей нужно знать сколько энергии потребляют светильники.

Сами солнечные батареи вырабатывают солнечную энергию только в светлое время суток. И выдают свою паспортную мощность только при наличие ясного неба и падении солнечных лучей под прямым углом [3].

При падении солнца под различными углами мощность и выработка электроэнергии заметно падает, и чем острее угол падения солнечных лучей, тем падение мощности больше. В

пасмурную погоду мощность солнечных батарей падает в 15-20 раз, даже при лёгких облачках и дымке мощность солнечных батарей падает в 2-3 раза, и это всё необходимо учитывать.

При расчёте лучше брать рабочее время, при котором солнечные батареи работают почти на всю мощность, равным 7 часов, это с 9 утра до 4 часов вечера. Панели, конечно, летом будут работать от рассвета до заката, но утром и вечером выработка будет совсем небольшая, по объёму всего 20-30% от общей дневной выработки, а 70% энергии будет вырабатываться в интервале с 9 до 16 часов.

Таким образом массив панелей мощностью 1 кВт (1000 ватт) за летний солнечный день выдаст за период с 9-ти до 16-ти часов 7 кВт*ч электроэнергии, и 210 кВт*ч в месяц. Плюс ещё 3 кВт (30%) за утро и вечер, но пускай это будет запасом так-как возможна переменная

облачность. И панели у нас установлены стационарно, и угол падения солнечных лучей изменяется, от этого естественно панели не будут выдавать свою мощность на 100%. Если массив панелей будет на 2 кВт, то выработка энергии будет 420 кВт*ч в месяц. А если будет одна панель на 100 ватт, то в день она будет давать всего 700 ватт*ч энергии, а в месяц 21 кВт*ч.

Рассчитываем необходимую емкость аккумулятора солнечных панелей [4].

Это можно изобразить такой упрощенной формулой с условными обозначениями:

$$E = \frac{M}{H},$$

где Е – емкость АКБ солнечных панелей, М – потребляемая оборудованием (светильниками)

мощность, Н – напряжение сети. В нашем примере при напряжении 12В получим:

$$\mathrm{E} = \frac{600\mathrm{Вт}}{12\mathrm{В}} = 50\left(\frac{\mathrm{А}}{\mathrm{ч}}\right).$$

Выясняем коэффициент инсоляции или месячный уровень радиации. Коэффициент зависит от региона/города проживания. Это открытая информация, которую несложно найти в справочниках [5]. К примеру, в Севастополе

среднегодовой коэффициент уровня радиации составляет 3,49 кВтч/м2, минимальное его значение в декабре – 0,93 (кВтч/м2)/день, а максимальное в июне –5,89 (кВтч/м2)/день. А в Симферополе среднегодовой показатель – 3,41

(кВтч)/м2 минимум в декабре – 0,87 (кВтч/м2)/день, максимум в июле – 6,39 (кВтч/м2)/день.

Рассчитываем дневную производительность выбранной солнечной батареи

Чтобы рассчитать, сколько солнечных батарей нужно для энергетической установки,

используем формулу:

$$П = К \cdot S \cdot КПД,$$

где П – производительность одной батареи, К –

коэффициент инсоляции (уровня радиации), S – площадь одной батареи, КПД –эффективность батареи в процентах. Рассмотрим на практике. К примеру, для батареи мощностью 250 Вт, площадью 2 м2 и с эффективностью (КПД) 15% мы

получим:

Среднесуточная производительность Севастополь:

годовая:

$3{,}49\frac{кВтч}{м^2} \cdot 2м^2 \cdot 0{,}15 = 1{,}047$ кВтч;

max: $5{,}89\frac{кВтч}{м^2} \cdot 2м^2 \cdot 0{,}15 = 1{,}767$ кВтч;

min: $0{,}93\frac{кВтч}{м^2} \cdot 2м^2 \cdot 0{,}15 = 0{,}279$ кВтч

Среднесуточная производительность, Симферополь:

годовая:

$3{,}41\frac{кВтч}{м^2} \cdot 2м^2 \cdot 0{,}15 = 1{,}023$ кВтч;

max: $6{,}39\frac{кВтч}{м^2} \cdot 2м^2 \cdot 0{,}15 = 1{,}917$ кВтч;

min: $0{,}87\frac{кВтч}{м^2} \cdot 2м^2 \cdot 0{,}15 = 0{,}261$ кВтч.

Рассчитываем необходимое количество солнечных панелей

Это можно сделать по следующей формуле:

$$С = \frac{М}{П},$$

С – необходимое количество солнечных панелей, М – потребляемая приборами мощность (ее мы уже определили

выше), а П – производительность одной солнечной батареи.

В наших примерах получим:

Для Севастополя:

max: $\frac{6кВтч}{1{,}767кВт} = 3$ батареи

min: $\frac{6кВтч}{0{,}279кВт} = 22$ батареи

Для Симферополя:

max: 6кВтч/1,917 кВт = 3 батареи

min: $\frac{6кВтч}{0{,}261кВт} = 23$ батареи

Расчёт ёмкости аккумуляторной батареи для солнечных панелей. Пример установленных аккумуляторов последовательно (48 Вольт) и универсального контроллера для солнечных батарей:

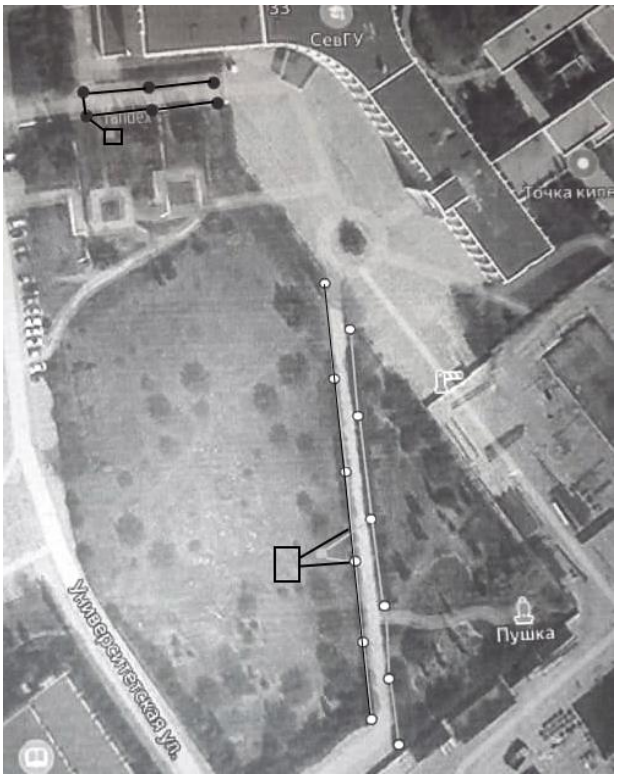


Рис.3. Предполагаемое место установки мини СЭС для освещения диагонали и парадной лестницы



Рис.4. Размещение аккумуляторов для электроустановки

Самый минимальный запас ёмкости аккумуляторов, который просто необходим должен

быть такой чтобы заряд в АКБ сохранился в тёмное время суток. Например если с вечера и до утра потребляется 3 кВт*ч энергии, то в аккумуляторах должен быть такой запас энергии. Если аккумулятор 12 вольт 200 А/ч, то энергии в нём поместиться 12*200=2400 ватт (2,4 кВт). Но аккумуляторы нельзя разряжать на 100%. Специализированные АКБ можно разряжать максимум до 70%, если больше то они быстро деградируют.

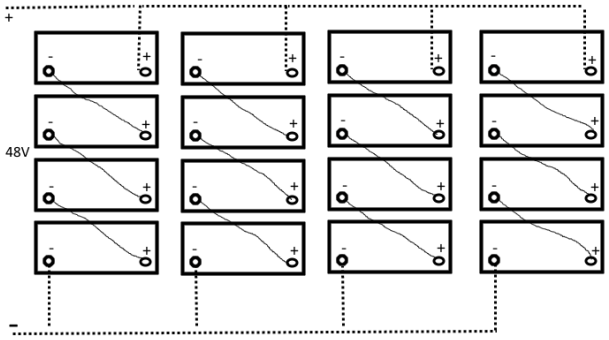


Рис.5. Последовательно-параллельная схема подключения АКБ 12В в 48 В

Если установить обычные автомобильные свинцово-кислотные АКБ, то их можно разряжать максимум на 50% [6].

Результаты исследования

Оптимальный запас ёмкости АКБ это суточный запас энергии в аккумуляторах. Если суточное потребление 10 кВт*ч, то рабочая ёмкость АКБ должна быть именно такой. Оборудование 1-2 пасмурных дня будет работать без перебоев. При этом в обычные дни в течение суток аккумуляторы будут разряжаться всего на 20-30%, и это продлит их ресурс.

КПД свинцово-кислотных аккумуляторов, который равен примерно 80%. То-есть аккумулятор при полном заряде берёт на 20% больше энергии чем потом сможет отдать. КПД зависит от тока заряда и разряда, и чем больше токи заряда и разряда тем ниже КПД.

Например если аккумулятор на 200 Ач, и потребление оборудования 2 кВт, то напряжение на АКБ резко упадёт, так-как ток разряда АКБ будет около 250 Ампер, и КПД отдачи энергии упадёт до 40-50%. Также если заряжать АКБ большим током, то КПД будет резко снижаться. Также инвертор (преобразователь энергии 12/24/48 в 220 в) имеет КПД 70-80%. Учитывая потери полученной от солнечных батарей энергии в аккумуляторах, и на преобразовании постоянного напряжения в переменное 220в, общие потери составят порядка 40%. Это значит что запас ёмкости аккумуляторов следует увеличивать на 40%, и так-же увеличивать массив солнечных батарей на 40%, чтобы компенсировать эти потери.

Существует два типа контроллеров заряда аккумуляторов от солнечных батарей, и без них не обойтись. PWM(ШИМ) контроллеры более простые и дешёвые, они не могут трансформировать энергию, и потому солнечные панели не могут отдать а АКБ всю свою мощность, максимум 80% от паспортной мощности. MPPT контроллеры (Maximum Power Point Tracking) отслеживают точку максимальной мощности и преобразуют энергию снижая напряжение и увеличивая ток зарядки, в итоге увеличивают отдачу солнечных батарей до 99%.

Таким образом, если ставить более дешёвый PWM контроллер, то необходимо увеличивать массив солнечных батарей ещё на 20%. Существует прямо пропорциональная зависимость потребляемой приборами мощности «на выходе» и продолжительности их работы с увеличением емкости массива АКБ, мощности инверторов и, в конечном итоге, стоимости всей гелиоустановки.

В ходе проведенных расчётов было определено количество аккумуляторных батарей и фотоэлектрических модулей.

Для освещения «Дороги жизни» необходимо установить 23 стойки с аккумуляторами емкостью 200 Ач, и фотоэлектрическими панелями мощностью 250 Ватт, и оборудовать LED светильниками постоянного тока, работающими без преобразования, напрямую от 12 Вольт [3].

Для освещения диагональной аллеи и парадной лестницы перед зданием СевГУ необходимо соорудить мини-СЭС, представляющую из себя цельнометаллический каркас в котором будут располагаться 16 аккумуляторных батарей, подсоединенных последовательно-параллельно и выдающих 48

Вольт постоянного тока, что позволит запитать контроллер-инвертор (в одном корпусе) номинальной мощностью 3 кВт (пиковая мощность 6 кВт). 12 опоры освещения на диагональной аллее, каждая опора будет оборудована 2 светодиодными прожекторами по 20 ватт каждый, работающими от 220 вольт, что позволит снизить их стоимость. На металлоконструкции необходимо разместить минимум 14 панелей по 200 Ватт каждая. И 6 декоративных светильников на па-

радно лестнице мощностью по 10 Ватт. Таим образом мощность всего освещения на протяжении 900 метров реализуемого с помощью возобновляемых источников энергии составит 1800 Ватт.

Таблица 2. *Перечень оборудования необходимого для освещения аллеи «Дорога жизни»*

№	Тип оборудования	Количество
1	Опора (Труба Ø 127*3,5, длина 6 м (5 м над землей))	140 метров
2	Кронштейн Егерь 4 (200+) для крепления солнечных батарей на столб	23 шт.
3	Уличный низковольтный светильник для работы от солнечных батарей PLI-09-3600-30Вт-DC12В-У	23 шт.
4	Всепогодный ящик IP54 400х400х200 на столб и Кронштейн для крепления	23 шт.
5	АКБ Delta Batery GEL 100Ач 12 v	24 шт.
6	Кронштейн для светильника на столб	23 шт.
7	Контроллер заряда MPPT	23 шт.
8	Цемент м 400 25 кг	25 шт.
9	Песок морской несеянный 50 кг	25 шт.
10	Солнечная панель поликремниевая 200 Вт	25 шт.
11	Краска 3 в 1 черный глянец, кисть	23 шт.
12	Элементы крепления (бандажная лента, скрепа)	100 м.
13	Провод 6 мм^2 и разъемы	100 м.
14	Термоусадочная трубка	10 м.

В результате проведенных вычислений были разработаны варианты освещения дороги. Для освещения необходимо установить 23 стойки с аккумуляторами емкостью 200 Ач, и фотоэлектрическими панелями мощностью 250 Ватт, и оборудовать LED светильниками мощностью 30 Вт.

Для освещения диагональной аллеи и парадной лестницы перед зданием СевГУ необходимо соорудить мини-СЭС, представляющую из себя цельнометаллический каркас, в котором будут располагаться 16 аккумуляторных батарей, подсоединенных последовательно-параллельно и выдающих 48 Вольт постоянного тока, что позволит запитать контроллер-инвертор.

Для более эффективной выработки электроэнергии возможно применить следящую систему на базе солнечного трекера.

Выводы

Использование предложенной фотоэлектрической системы электроснабжения позволяет быть независимым от поставок электрической энергии и значительно сократить использование традиционных органических топлив.

При использовании комбинированного контроллера заряда и инвертора в одном корпусе с технологией MPPT общий КПД мини СЭС возрастает на 13% по сравнению с ШИМ контроллером.

Предложенная компоновка фотоэлектрической системы позволяет не только её повысить эффективность, но и значительно увеличить количество часов непрерывной работы без поставок электроэнергии от общей сети.

Также использование возобновляемых источников энергии позволяет значительно сократить выбросу вредных веществ и улучшить экологическую составляющую.

Список литературы

1. Баадер Б., Доне Е., Брендерфер М. Биогаз: Теория и практика. - М.: Колос. - 1982. –148с.
2. www.e-veterok.ru, solarpanel.today. Инженерно-технический ресурс пор проектированию СЭС.
3. Кувшинов В.В., Сафонов В.А. Некоторые результаты исследования комбинированной установки для фототермопреобразования солнечной энергии // Сборник трудов СНУЯЭиП, № 31, 2009, С. 158-163.
4. Бекман У., Кейли С., Даффи Д. Расчет систем солнечного теплоснабжения // Энергоатомиздат, Москва, 1988 г.
5. Кувшинов В.В. Использование солнечных установок для обеспечения энергетической безопасности региона // Сборник статей по материалам научно-практической конференции с международным участием. Под редакцией Ю.А. Омельчук, Н.В. Ляминой, Г.В. Кучерик. / Севастополь, 11-15 сентября, 2017. С. 715-718.С.
6. Арбузов Ю.Д., Евдокимов В.М. Основы фотоэлектричества // Москва 2007.

References

1. Baader B., Done E., Brenderfer M. Biogas: Theory and practice. - M.: Kolos. - 1982. -148s.
2. www.e-veterok.ru, solarpanel.today. Engineering and technical resource for the design of solar power plants.
3. Kuvshinov V.V., Safonov V.A. Some results of the study of a combined installation for the photothermal conversion of solar energy // Collection of proceedings of SNUYaEiP, No. 31, 2009, pp. 158-163.
4. Beckman W., Caylee S., Duffy D. Calculation of so-

lar heat supply systems // Energoatomiz-dat, Moscow, 1988.
5. Kuvshinov V.V. The use of solar installations to ensure the energy security of the region // Collection of articles based on materials of a scientific and practical conference with international participation. Edited by Yu.A. Omelchuk, N.V. Lyamina, G.V. Kucherik. / Sevastopol, September 11-15, 2017. P. 715-718.
6. Arbuzov Yu.D., Evdokimov V.M. Fundamentals of photo-electricity // Moscow 2007.

УДК621.311.1

SCADA ЭНТЕК как интеллектуальная основа будущей распределительной энергосети России

А.М. Шестернева[1]
[1] *Севастопольский государственный университет,*
ул. Университетская 33, 299053, Севастополь, Россия, [1]*aleksandra0784@mail.ru*

Статья поступила 21.02.2023 г.; после доработки 22.02.2023 г.

Аннотация

В статье рассмотрена актуальная тема создания систем интеллектуального управленияэнергоснабжением в условиях значительного развития технологийи обсуждения острых вопросов эффективного использования ресурсов предприятий. Как одно из возможных решений развития будущей энергетики России, представлен комплекс SCADA ЭНТЕК, разработанный компанией «Таврида Электрик», обладающий набором базовых инструментов интеллектуального управления. Приведен состав основных функций, рассмотрены технологические задачи, решаемые с его помощью.

Ключевые слова: электрическая подстанция, реклоузер, распределительная сеть, интеллектуальная сеть,программный комплекс управления электрическими сетями.

SCADA ENTEC as an intellectual basis for the future distribution power grid in Russia

A.M.Shesterniova[1]
[1]*Sevastopol State University, st. Universitetskaya 33, 299053, Sevastopol, Russia*
[2]*aleksandra0784@mail.ru*

Received 21.02.2023 y.; received in final form 22.02.2023 y.

Abstract

The article deals with the actual topic of creating systems for intelligent control of energy supply in the context of significant development of technologies and discussion of acute issues of efficient use of enterprise resources. As one of the possible solutions for the development of the future energy industry in Russia, the ENTEC SCADA complex, developed by the Tavrida Electric company and having a set of basic intelligent control tools, is presented. The composition of the main functions is given, the technological problems solved with its help are considered.

Keywords: electrical substation, recloser, distribution network, intelligent network, software package for managing electrical networks.

Введение

На современном этапе развития электроэнергетика России сталкивается с рядом проблем, для решения которых появились новые возможности. Длительное время из-за дороговизны и сложности внедрения систем телемеханики, диспетчерские программные комплексы были ориентированы в первую очередь на магистральные электрические сети, при этом диспетчеризация распределительных электрических сетей осуществлялась по остаточному принципу. Это привело к тому, что в век всеобщей информатизации в распределительных сетях 6 -10 кВ часто встречаются случаи, когда о повреждении в линии узнают по звонку потребителя, а оперативные переключения сопряжены с выездом рабочей бригады на место. Помимо морального

устаревания такого подхода к системе электроснабжения, а также длительности ее ремонтного обслуживания, возникают дополнительные вопросы, подразумевающие решение таких проблем как износ электрооборудования, составляющий 60-80%.

Такое положение однозначно влечет за собой материальные затраты не только на ремонт оборудования, но и на его замену. В случае необходимости замены оборудования в распределительной сети, возможно пойти двумя путями: ограничиться заменой на то же самое, то есть не решать технические проблемы, а кратковременно их отсрочить, либо учесть накопившийся опыт эксплуатации и современные достижения науки и техники**,** предложить нечто новое.

Давно известно о внедрении новых интеллектуальных сетей на западе, которые обладают рядом бесспорных преимуществ. При этом внедрение подобных систем в России крайне осложнено по причинам больших размеров нашей страны, локальных особенностей рельефа, климатики, устаревших нормативных требований советской эпохи. Рациональным решением является поэтапное обновление распределительных сетей, путем внедрения при осуществлении плановых или аварийных ремонтов интеллектуальных комплексов, адаптированных не только к существующей сети, но и к возможной будущей энергосистеме.

Одним из вариантов такого постепенного внедрения является система Scada ЭНТЕК от компании «Таврида Электрик». Данная система предлагается в комплексном решении совместно с реклоузером нового поколения Smart15.

Постановка цели научной работы

Задачей исследования является изучение возможности полной автоматизации РЭС, повышение надежности энергоснабжения, снижение издержек и потерь без дополнительных капиталовложений.

SCADAЭНТЭК для телемеханизации реклоузеров РВА/TEL

Учитывая современное развитие электроэнергетических систем, накопленный опыт и вопросы, которые встают перед службами эксплуатации РЭС компания «Таврида Электрик» предложила внедрение системы Scada для РЭС комплексно с реклоузерами серии Smart15. Реклоузер - это интеллектуальный коммутационный аппарат, объединяющий в одном устройстве силовой вакуумный выключатель наружного исполнения с интегрированной системой измерения токов и напряжений, и шкаф управления с продвинутыми функциями защит и автоматики, специально адаптированными под нужды воздушных распределительных сетей.

Целевым применением реклоузеров является реализация децентрализованной автоматизации распределительных сетей с целью наиболее эффективного способа повышения показателей надёжности электроснабжения потребителей в воздушных сетях. Реклоузеры позволяют строить ОРУ 6-10 кВ для модернизации и нового строительства подстанций или распределительных пунктов, а также организовывать автоматизированные пункты местного резервирования электроснабжения потребителей I категории.

Реклоузер нового поколения со встроенной функцией учета электроэнергии

Реклоузер Smart15 открывает новую веху в развитии интеллектуальных коммутационных аппаратов. Это новейшее поколение реклоузеров 10 кВ с инновационной встроенной системой измерения с классом точности 0,5S по току и 0,5 по напряжению для реализации коммерческого учёта электроэнергии. Реклоузеры с функцией учёта позволяют оптимальным образом разграничивать балансовую принадлежность при подключении новых абонентов к сети, обеспечивая учет электроэнергии и предупреждение хищений электроэнергии для сокращения коммерческих потерь.

Преимущества реклоузеров РВА/TEL:

- Защиты, автоматика и учет электроэнергии размещены в едином устройстве незначительных габаритов.
- Принципиально новый уровень решения проблем в сетях распределительной сети.
- Надежность коммутационного модуля, подтвержденная многочисленными испытаниями
- Низкая трудоемкость монтажа.
- Поставляемые с реклоузером разъединители типа CutOut устанавливаются на одной опоре с реклоузером, что облегчает монтаж и обслуживание оборудования.
- Исключены затраты на ремонт реклоузера и разъединителя.
- Малогабаритные показатели, повышающие конкурентоспособность данного комплекса

на энергетическом рынке.



Рис.1 Реклоузер нового поколения со встроенной функцией учета электроэнергии. Внешний вид.

Коммутационный модуль реклоузера обладает исключительными в своем классе напряжения массогабаритными показателями. Smart15 наиболее оптимальным образом решает проблему обнаружения однофазных замыканий на землю. В сети с изолированной нейтралью защита от однофазных замыканий на землю способна точно определять зону повреждения, требуя минимум настроек. А минимальное значение измерения тока нулевой последовательности - рекордные 100 мА. Коммутационный модуль изображен на Рис 2 и включает в себя следующие элементы:

- Силиконовая изоляция обладает устойчивостью к атмосферным воздействиям, озону, УФ-излучению, обладает гидрофобностью, высокой адгезией и трекинго-эрозионной стойкостью.
- Подтвержденная долговечность пластиковых узлов и деталей, проверенная в ходе ускоренных испытаний на старение, что гарантирует сохранение характеристик в течение всего срока эксплуатации.
- IP65 - степень защиты оболочки. Каждый модуль проходит тест на герметичность во время ПСИ.
- Комбинированные датчики тока и напряжения (КДТН). Обеспечивают высокую точность измерения на малых и больших.

Шкаф управления реклоузера изображен на рис.3. , устанавливается на той же опоре, что и реклоузер, включает в себя следующие элементы:

- Универсальный контроллер, совместивший в себе управление выключателем, защиты и автоматику, а также функции учета электрической энергии. Произведена высокая степень защиты шкафа управления от внешних факторов: он оснащен гермовводами для вторичных цепей, дверь шкафа имеет резиновый уплотнитель по всему периметру и трехточечный замок; Конструктив шкафа предусматривает эффективные способы по удалению сконденсированной влаги внутри него; Металлический козырек шкафа управления защищает контроллер присоединения от перегрева в теплое время года.
- Встроенный источник бесперебойного питания. Автономная работа реклоузера до 30 часов.
- Комплексное решение «Цифровой РЭС»



Рис 2. Коммутационный модульреклоузера



Рис. 3 Шкаф управления

Как уже было указано ранее, для управления реклоузерами нового поколения -компанией «Таврида Электрик» разработан программный комплекс – система ЭНТЕК, которая подразумевает реализацию следующих возможностей:

- Дистанционное соединение с реклоузером по проводному (оптоволоконному) и/или

беспроводному (GSM, радио-канал) каналам связи. Таким образом, повреждение какого-либо канала связи, либо нескольких оставляет для системы дистанционные возможности получения и передачи информации в электрическую сеть.

- Управление реклоузером происходит с помощью графического интерфейса на русском языке, что дает четкое представление и понимание процессов, происходящих в электрической сети в режиме реального времени. На мнемосхему выведен только тот перечень сигналов, который необходим при работе с реклоузером, ПУС и ПКУ. Все сигналы сгруппированы по функциональному назначению, поиск необходимой информации производится просто и быстро.
- Хранение журналов событий, журналов нагрузок, журналов ВО на сервере диспетчерского пункта РЭС, что дает возможность анализа ситуации на заданных участках, а также возможность прогнозирования нагрузок в случае внесения изменений в режим работы сети.
- Формирование отчетов за произвольный промежуток времени. Формирование отчетов принято рассматривать в таких промежутках времени как сутки, месяц, год и т.д., что не всегда дает возможность для понимания режима работы в определенных промежутках времени. Электронное управление реклоузера предоставляет такую возможность без дополнительных затрат сил и времени. В программном комплексе возможно задать любой интересующий временной промежуток и получить полное описание работы системы в заданном временном интервале. По каждой точке учета можно просматривать данные о получасовых мощностях по суткам, потреблении электроэнергии за месяц и показаниях счетчика электроэнергии на начало месяца.
- Полная поддержка «незапрашиваемых ответов» от РВА/TEL. Возможность проведения анализа энергопотребления, расчет балансов, небалансов, потерь, расчет аварийных режимов, поиск неисправного и неправильно работающего оборудования.
- Интеграция в существующие Scada системы РЭСпо средствам технологии OPC или ГОСТ Р МЭК 60870-5-104-2004 передачу данных от РЭС в центральный ОИК диспетчерский центр. Данная функция дает возможность центрального управления различными Scada системами, передачу данных в вышестоящие диспетчерские пункты и возможность реагирования на изменение режима работы в режиме реального времени из нескольких точек управления.
- Простота интерфейса позволяет легко осваивать программу пользователям с различным уровнем подготовки.

Возможности SCADA ЭНТЕК для РЭС

Система SCADA ЭНТЕК создана с учетом возможности внедрения в существующую энергосистему распределительной сети. Она не требует дополнительных затрат на модернизацию сети. Применив реклоузеры нового поколения производства компании «Таврида Электрик», возможно не только повысить срок эксплуатации оборудования, но и решить такие задачи как удаленный сбор показания с приборов учета и автоматического формирования баланса отпуска электроэнергии, контроль показателей качества электроэнергии, наблюдение и автоматический анализ текущего состояние всех обслуживаемых элементов энергосистемы на интерактивной карте.

Как следствие, применение данных решений позволяет выйти на новый уровень цифрового мониторинга состояния распределительной сети.

Помимо перечисленных возможностей, система управления реклоузерами SCADA ЭНТЕК имеет следующие преимущества:

- Интуитивно понятный интерфейс;
- Минимальные первоначальные затраты на организацию. ЭНТЕК может устанавливаться как на бытовом компьютере, так и на компьютере промышленного исполнения. Специализированного серверного оборудования не требуется. Для организации связи необходима только каналообразующая аппаратура;
- Минимальные эксплуатационные затраты при любом канале связи.
- Отличительной чертой протокола DNP 3.0, который поддерживает реклоузер РВА/TEL, является поддержка «незапрашиваемых ответов». Реализация «незапрашиваемых ответов» позволяет организовать передачу данных от реклоузера на диспетчерский пункт без периодического опроса. Передача данных начинается по факту возникновения определенного события в реклоузере. Перечень событий, при которых совершаются звонки с реклоузера на

диспетчерский пункт, предварительно настраиваются;

- Простота настройки. SCADA на базе ЭНТЕК поставляется с максимальным количеством предустановленных настроек. Точная настройка производится под конкретный объект;
- Расширение функциональности без переустановки программ. Расширение функциональности требуется при увеличении количества телемеханизируемых объектов. В этом случае вносится дополнительный серийный номер в уже установленную программу, что дает возможности управления измененной энергосетью;
- Передача данных на верхний уровень в ОИК Диспетчер. ЭНТЕК предназначен для построения SCADAи АИИС КУЭ на диспетчерском пункте РЭС. На центральном диспетчерском пункте уже установлена программа ОИК Диспетчер, либо подобная ей. Таким образом, если диспетчеру центрального ДП необходимо будет получить данные о состоянии РВА/TEL, токах и напряжениях в месте установки оборудования, или люых других данных, с реклоузера, необходимо просто сделать соответствующий запрос в ЭНТЕК.

Заключение

Система SCADA ЭНТЕК разработана специально для распределительных сетей. Обладает широкими возможностями. Эта система позволяет решать комплексные задачи энергосистемы и обладает возможностями современной интеллектуальной сети отечественного производства. SCADA ЭНТЕК осуществляет мониторинг работы оборудования - снижается вероятность возникновения аварий и снижает вероятность уничтожения и хищения электрооборудования при несанкционированном открытии шкафа, отслеживает показатели частоты передаваемой электроэнергии, токов, напряжений и мощностей в on-line режиме, ведет технический учет электроэнергии. Функция технического учета электроэнергии позволит персоналу электросетевых компаний получать информацию о режимах, в которых работает электрооборудование и о профилях нагрузок. Реклоузер выполняет учет активной, реактивной и полной мощности, как в сторону положительного направления мощности, так и в сторону отрицательного. Значения мощностей хранятся в памяти реклоузера и могут быть переданы на накопительные устройства диспетчерского пункта. Все это – возможности современной интеллектуальной сети.

В данной статье рассматривается возможность массового применения системы SCADA ЭНТЕК для реклоузеров нового поколения разработанных компанией «Таврида Электрик» на всей территории Российской Федерации. Предлагается замена устаревшего, вышедшего из строя оборудования энергосети, на современную интеллектуальную сеть отечественного производства без глобальных финансовых затрат. Возможна комплексная автоматизация РЭС - повышение надежности электроснабжения, снижение издержек и потерь с помощью реклоузеров, пунктов учета, пунктов учета и секционирования и объединение в единую систему SCADA. Обладая значительными функциональными возможностями, данная система дешевле аналогичных систем, существующих на рынке, и позволяет без существенных капиталовложений произвести телемеханизацию РЭС.

Применение SCADA системы значительно упрощает работу диспетчерского персонала, снизив влияние человеческого фактора в моменты проведения переключений, а также дает возможность диспетчеру наглядно отображать свои команды на мнемосхеме.

Таким образом, благодаря наличию различных функциональных возможностей, необходимых для управления режимами электрических сетей, а также решения задач контроля состояния оборудования, система Scada обеспечивает создание надежных и эффективных средств управления, отвечающих требованиям современных интеллектуальных активно-адаптивных сетей, и применима к реализации в действующей электроэнергетической системе России.

Список литературы

1. «SCADA-системы: взгляд изнутри». А.Б., Куцевич Н.А., Синенко О.В., Андреев Б.Е., издательство «РТСофт». 2004 г.
2. «InTouch руководство по системе разработки и исполнения», коллектив ЗАО «РТСофт». 2013 г.
3. «Программный логический контроллер SMART I\O». Методические указания Самара, Университет Наяновой, 1996 г.
4. Батурлин С. Электробезопасность промышленных предприятий. Система защиты от дуги // Автоматизация и IT в энергетике. 2013. № 1.
5. ГОСТ 14693-90 Устройства комплектные распределительные негерметизированные в метал-

лической оболочке на напряжение до 10 кВ. Общие технические условия.
6. https://reclouser.ru/reclouser/scada
7. https://www.tavrida.ru/ter/solutions/REC15/sektsionirovanie-i-uchet-na-otvetvleniyakh/

References

1. "SCADA-systems: an inside view". A.B., Kutsevich N.A., Sinenko O.V., Andreev B.E.,RTSoft publishing house. 2004
2. "In Touch guide to the development and execution system", CJSC teamRTSoft. 2013
3. "SMART I\O software logic controller". Methodological instructions Sama-ra,Nayanova University, 1996
4. Baturlin S. Electrical safety of industrial enterprises. Arc protection system // Automation and IT in the energy sector. 2013. No. 1.
5. GOST 14693-90 Unsealed complete distribution devices in a metal sheath for voltage up to 10 kV. Generalspecifications.
6. https://reclouser.ru/reclouser/scada
7. https://www.tavrida.ru/ter/solutions/REC15/sektsionirovanie-i-uchet-na-otvetvleniyakh/

УДК621.311.1

Анализ применения «Точки трансформации» как перспективы развития электроэнергетики России

А.М. Шестернёва[1]
[1] *Севастопольский государственный университет,*
ул. Университетская 33, 299053, Севастополь, Россия, [1]*aleksandra0784@mail.ru*

Статья поступила 21.02.2023 г.; после доработки 22.02.2023 г.

Аннотация

В статье рассмотрена реконструкция подстанций 35/10 кВ новейшим решением под названием «Точка трансформации», разработанным отечественной компанией «Таврида Электрик». Точка трансформации обладает рядом неоспоримых достоинств по сравнению с трансформаторными подстанциями своего класса, требует значительно меньших капиталовложений и, имея малый габаритный размер, не требует значительных подготовленных территорий для установки. Это открывает возможность строительства «Точки трансформации» на участках, где установка стационарных подстанций затруднительна.

Ключевые слова: электрическая подстанция, комплектное распределительное устройство

Analysis of the application of the "Point of Transformation" as a prospect for the development of the Russian electric power industry

A.M.Shesterniova[1]
[1]*Sevastopol State University, st. Universitetskaya 33, 299053, Sevastopol, Russia*
[2]*aleksandra0784@mail.ru*

Received 21.02.2023 y.; received in final form 22.02.2023 y.

Abstract

The article considers the reconstruction of 35/10 kV substations with the latest solution called "Transformation Point", developed by the domestic company "Tavrida Electric". The transformation point has a number of undeniable advantages compared to transformer substations of its class, it requires significantly less capital investment and, having a small overall size, does not require significant prepared areas for installation. This opens up the possibility of building a "Transformation Point" in areas where the installation of stationary substations is difficult.

*Keywords:*electric substation, complete distributive device, electric arc.

Введение

В настоящее время в целях улучшения качества электроснабжения электроэнергетической системы России ведется поиск новых решений, включающий в себя преобразование существующей сети. В процессе этих преобразований присутствовало мнение, что 35кВ — это уходящий класс напряжения в отечественных распределительных сетях.

В 80-х годах XX века были планы по переводу сетей 35кВ на 110кВ, но этому не суждено было сбыться. На сегодняшний день распределительные сети 35 кВ являются традиционными и привычными для отечественных энергетиков. Доля таких сетей по всей территории Российской Федерации значительна. Из общего количества сетей 35 кВ почти половину составляют центры питания распределительных сетей 35/10кВ. Протяженность воздушных линий 35 кВ в нашей стране составляет сотни тысяч километров. Для предприятий по добыче нефти и газа, а также для целого ряда промышленных предприятий класс

35кВ остается основным в системе электроснабжения. Распределительные сети 35кВ обладают двумя очевидными преимуществами в сравнении с сетями более низких классов напряжений: меньшие потери электрической энергии — доля потерь в сетях 35кВ в общих потерях составляет всего 16% против 24% в сетях 6(10) кВ, а также более высокая надежность — удельная повреждаемость сети 35кВ составляет 2,5 отключения на 100км линии в год против аналогичных 10 отключений в сетях 6(10) кВ. Финансирование работ по реконструкции таких сетей не покрывало требуемых для этого расходов, что привело к их значительной изношенности. Средний возраст оборудования подстанций 35кВ составляет 35 лет, а возраст около 20% оборудования данных сетей составляет 50 лет.

Постановка цели научной работы

Задачей исследования является анализ возможности реконструкции подстанций 35/10 кВ новейшим решением под названием «Точка трансформации», разработанным отечественной компанией «Таврида Электрик».

Оборудование действующих трансформаторных подстанций 35/10 кВ

Трансформаторная подстанция – важнейший элемент электрической сети. Трансформаторная подстанция выполняет три основные задачи – принимать электроэнергию, преобразовывать ее и передавать на дальнейшее ее распределение среди потребителей.

В состав подстанции входит множество различных элементов, позволяющих беспрерывно и стабильно работать всей системе продолжительное время. Подстанцию можно разбить на несколько подсистем:

- система автоматического управления;
- система учёта электроэнергии;
- система релейной и противоаварийной защиты;
- система молниезащиты;
- система заземления;
- вспомогательные системы, куда вошли элементы по охранным функциям, плавки снега и льда на линиях, местного освещения, сбора масла и прочих систем бытового потребления.

Несмотря на такую внутреннюю многоструктурную систематизацию, подстанциисостоят из следующих основных устройств, обеспечивающих нормальную их функциональность:

- силовые трансформаторы;
- распределительные устройства высокого и низкого классов напряжения
- коммутационные аппараты
- вспомогательные устройства, обеспечивающие стабильность работы подстанций при любых погодных и временных условиях.

Наиболее распространенным типом коммутационного аппарата в сетях 35кВ является масляный выключатель. На сегодняшний день масляный выключатель продолжает выполнять свои функции, несмотря на то, что первые подобные аппараты были введены в эксплуатацию около 100 лет назад. Подобный ресурс эксплуатации стал возможен благодаря его грамотному проектированию. Если внимательно посмотреть на его структуру, то мы увидим силовой аппарат, встроенные трансформаторы тока, встроенные токовые реле и однократное АПВ, которое необходимое для воздушных линий электропередачи. Несмотря на надежность эксплуатационных характеристик и верно выбранные решения при проектировании, на сегодняшний день С-35 не удовлетворяет современным потребностям электрической системы, не редко он является источником аварии. Чаще всего ломается пружинно-моторный привод, который требует повседневного внимания. Большого внимания требует и вопрос герметизации С-35. Защиты, выполненные на токовых расцепителях, сами по себе надежные, но негибкие в настройках, вследствие чего нередки ошибки в срабатывании. Все эти возникающие вопросы приводят к значительным расходам на ремонт, а дальнейшая эксплуатация становится более дорогостоящей и все менее надежной.

Точка трансформации. Ее назначение и устройство

Точка трансформации – принципиально новая альтернатива трансформаторных подстанций 35/10 кВ, предназначена для приема электрической энергии 35 кВ с последующим ее преобразованием в напряжение 10 кВ и распределением.

Точка трансформации состоит из следующих элементов:

- Силовой трансформатор 35/10 кВ (на фундаменте, с маслоприемником)
- ОРУ-35 кВ с реклоузером и разъединителем, установленными на железобетонной

опоре;

- ОРУ-10кВ с реклоузером и разъединителем, установленными на железобетонной опоре;
- Система молниезащиты и заземления;
- Ограждение площадки.



Рис.1. Общий вид «Точки трансформации»

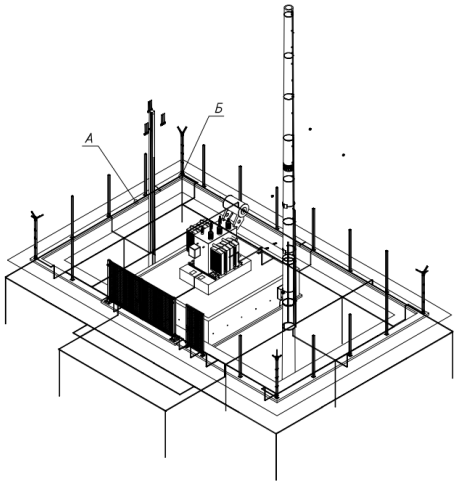


Рис.2. Система молниезащиты и заземления «Точки трансформации»

На рис. 1 представлен общий вид «Точки трансформации», на рис.2 – система молниезащиты и заземления «Точки трансформации». Данная подстанция легко встраивается в существующую сеть и несет в себе принципиально новые технические решения, которые наглядно показаны на рис.3 на однолинейной схеме электроснабжения «Точки трансформации»

Точка трансформации обладает рядом неоспоримых достоинств по сравнению с трансформаторными подстанциями своего класса:

- Точка трансформации оснащена более современным, уникальным оборудованием, одним из достоинств которого является его малогабаритность и масса. Засчет использования оборудования компании «Таврида Электрик» удалось снизить общий габарит подстанции в 3 раза по сравнению с аналогами.
- Функции защит и автоматики по сети 35 кВ реализованы на базе встроенного комплекта защит в реклоузерSmart 35, что позволяет поэтапно выводить сеть 35 кВ на новый современный интеллектуальный цифровой уровень. Релейная защита реклоузера Smart 35 предусматривает следующие функции: максимальную токовую защиту, логистическую защиту трансформатора, защиту от перегрузки трансформатора, защиту от однофазных замыканий на землю, защиту от потери питания, защиту от обратной мощности. Также сохранены технологические защиты трансформатора:газовая защита, защита по температуре масла, Защита по уровню масла, и контроль предохранительного клапан трансформатора.

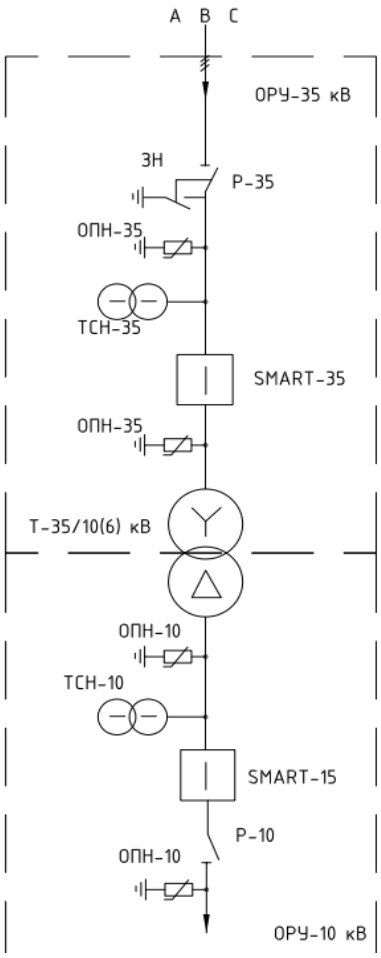


Рис 3. однолинейная схема электроснабжения точки трансформации.

Диспетчеризация «Точки трансформации»

Современная диспетчеризация Российских сетей постепенно принимает новый уровень цифровизации. Применение «Точки трансформации» для сети 35/10 кВ дает возможность расширения интеллектуальной сети на территории нашей страны. Функция диспетчеризации в «Точке трансформации» реализована с помощью программы «Гео Скада», которая показывает состояние сети в режиме реального времени при помощи GSM- глобальной системе мобильной связи. Для организации GSM связи с одним РВА требуется компьютер, плата расширения на два COM-порта, если их нет в базовой комплектации ПК, sim карты, комплекта GSM связи (модем, антенна). Все необходимые каналы связи оборудования «Точки трансформации» являются базовым решением. Питание систем передачи данных от реклоузеров организуется от внутреннего источника питания. Также на «Точке трансформации» обеспечивается выполнение требований ограничения несанкционированного доступа с выводом сигналов от интеллектуальной системы безопасности на диспетчерский пункт.

«Точка трансформации» является высоконадежной необслуживаемой подстанцией, регламентные работы производятся оперативно-выездными бригадами при необходимости.

Заключение

Наша страна обладает огромным количеством распределительных сетей, которые на данный момент нуждаются в модернизации. Одним из элементов сетей, требующих новых решений являются трансформаторные подстанции 35/10 кВ. В статье рассмотрена возможность замены таких подстанций на принципально новый формат подстанции, разработанный компанией «Таврида Электрик», называемый «Точка трансформации».

«Точка трансформации» обладает такими преимуществами, как малый габаритный размер (в три раза меньше размера аналогичных ТП) и новое интеллектуальное оборудование, позволяющее повысить надежность такой сети, повысить качество передаваемой электроэнергии, дает возможность удаленного управления данной подстанцией из диспетчерского пункта.

Монтаж «Точки трансформации» значительно проще, чем типовой подстанции 35/10 кВ, требует значительно меньших капиталовложений. Засчет малых габаритов установка «Точки трансформации» не требует значительных подготовленных территорий и возможна в тех местностях, где строительство стационарных подстанций затруднительно.

Все это дает широкие возможности применения данного решения на всей территории России.

Списоклитературы

1. Грумбина А.Б. Электрические машины и источники питания РЭА. Москва, 2009 г.
2. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Учебник для вузов. 6-е изд., Москва, 2006 г.
3. Барыбин Ю.Г. Справочник по проектированию электроснабжения, Москва, 2008 г.
4. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. Учебное пособие, Москва, 2009 г.
5. Соколов Б.А., Соколова Н.Б. Монтаж электрических установок, Москва, 2007 г.
6. Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В. Электрооборудование электрических станций и подстанций, Москва, 2004 г.
7. Идельчик В.И. Электрические системы и сети, Москва, 2007 г.
8. Почаевец В.С. Электрические подстанции, Москва, 2009 г.
9. Материалы, предоставленные компанией «Таврида Электрик»

References

1. Grumbina A.B. Electrical machines and power sources of REA. Moscow, 2009
2. Chunikhin A.A. Electrical apparatus. Textbook for high schools. 6th ed., Moscow, 2006
3. BarybinYu.G. Power supply design guide, Moscow, 2008
4. Konyukhova E.A. Power supply of objects. Textbook, Moscow, 2009
5. Sokolov B.A., Sokolova N.B. Installation of electrical installations, Moscow, 2007
6. Rozhkova L.D., Karneeva L.K., Chirkova T.V. Electrical equipment of power stations and substations, Moscow, 2004
7. Idelchik V.I. Electrical systems and networks, Moscow, 2007
8. Pochaevets V.S. Electrical substations, Moscow, 2009
9. Materials provided by the company "Tavrida Electric"

УДК 620.92

Перспективы развития распределенной энергетики в условиях полуострова Крым

Б.А. Якимович [1], Е.Г. Малюк [2] , Е.Г. Какушина[3]
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, [1]bayakimovich@mail.sevsu.ru ,[2]egmalyuk@mail.sevsu.ru [3]littie@mail.ru.

Статья поступила 20.02.2023 г.; после доработки 21.02.2023 г.

Аннотация
В статье описывается возможность создания на территории полуострова Крым пилотных проектов энергетических кластеров, использующих технологии распределенной генерации, с целью исследования и оптимизации возможностей распределенной энергетики в повышении качества электроснабжения потребителей.

Ключевые слова: распределенная энергетика, малая распределенная генерация, энергетический кластер, активные потребители.

Prospects for the development of distributed energy in the conditions of the Crimean peninsula

B.A. Yakimovich [1], E.G. Malyuk [2] , E.G. Kakushina[3]
Sevastopol State University, Universitetskaya St., 33, Sevastopol, 299053, Russia, [1]bayakimovich@mail.sevsu.ru, [2]egmalyuk@mail.sevsu.ru, [3]littie@mail.ru.

Received 20.02.2023 y.; received in final form 21.02.2023 y.

Annotation
The article describes the possibility of creating pilot projects of energy clusters using distributed generation technologies on the territory of the Crimean Peninsula in order to study and optimize the capabilities of distributed energy in improving the quality of power supply to consumers.

Keywords: distributed energy, small distributed generation, energy cluster, active consumers

Введение

Рост энергопотребления в мире, сопровождаемый необходимостью повышения качества, подаваемой потребителям энергии, вынуждает увеличивать количество генерирующих мощностей и совершенствовать систему передачи и распределения электроэнергии. Однако на фоне ухудшения экологической ситуации в мире, вызванной использованием технологий прошлого века, когда для производства электроэнергии используется ископаемое топливо, экстенсивные методы развития энергетики становятся крайне непопулярными.

На фоне развития информационных технологий, позволяющих значительно улучшить управляемость энергетическими объектами и повысить эффективность их использования, вспомнили об электроэнергетике 20-30 годов прошлого века, когда энергетика практически всех развитых стран была основана на распределенной генерации, т. е. использовании местных ресурсов для производства электроэнергии. В процессе развития электроэнергетики в условиях непрерывно увеличивавшейся добычи ископаемого топлива для электростанций, относительной его дешевизны более выгодным было производство больших объемов электроэнергии на крупных генерирующих предприятиях, с последующей передачей мощностей до потребителя с использованием высоковольтных линий

электропередачи. Однако требования потребителя к качеству подаваемой электроэнергии, значительно выросшие цены на ископаемое топливо и обостряющиеся экологические проблемы привели к тому, что стоимость электроэнергии начала расти темпами, не прогнозируемыми ранее. Кроме того, высокими темпами растет потребление электрической энергии в силу удобства её использования и универсальности преобразования в другие виды энергии, что еще более повлияло на её стоимость. Все эти факторы привели к возрастанию интереса к распределенной генерации, основанной на использовании как давно известных технологий, так и относительно новых энергетических технологий, основанных на возобновляемых источниках энергии.

Распределенная энергетика - катализатор и ключевой элемент «энергетического перехода» от традиционной организации энергосистем XX века к новым технологиям и практикам XXI века. «Энергетический переход» осуществляется на базе децентрализации, цифровизации, интеллектуализации систем энергоснабжения, с активным вовлечением самих потребителей и всех видов энергетических ресурсов и характеризуется повышением энергетической эффективности и снижением выбросов парниковых газов (прежде всего за счет возобновляемых источников энергии).

Глобальный рынок технологий распределенных энергоресурсов (малой распределенной генерации, управления спросом, накопителей, энергоэффективности и др.) растет темпами около 6-9% в год. Ожидается, что к 2025 год объем ввода мощностей распределенной генерации превысит объемы ввода централизованной генерации в три раза. По оценке Международного энергетического агентства, распределенная энергетика обеспечит до 75% новых подключений в ходе глобальной электрификации до 2030 г. По результатам исследований, проведенным специалистами «Энергетического центра Московской школы управления СКОЛКОВО», потенциал распределенной энергетики Российской Федерации составляет около 17 ГВт. Собственная генерация потребителей может обеспечить дополнительно около 13 ГВт, управление спросом – до 4 ГВт, энергоэффективность – 1,5 ГВт и микрогенерация на ВИЭ – 0,6 ГВт [2].

В рамках настоящего исследования сделана попытка оценить потенциал распределенной энергетики Крым и г.Севастополя, имея в виду, что в силу относительной автономности энергетической системы Крыма возможно создание пилотного проекта по внедрению в электроэнергетику цифровых, информационных и энергосберегающих технологий, новых экологичных энергетических технологий.

Историческая справка

Производство электроэнергии в Крыму всегда было намного меньше потребности в ней. До декабря 2015 года порядка. 80% потребляемой в регионе электроэнергии поставлялось из Украины через Перекопский перешеек и полуостров Чонгар. Обеспечение электроэнергией полуострова осуществлялось по четырем межсистемным связям - три высоковольтные линии 330 кВ и одна — 220 кВ, суммарная пропускная способность межсистемных связей около 1250 тыс. кВт.

В декабре 2014 года «Интер РАО» и «Укринтерэнерго» подписали годовой контракт на экспорт электроэнергии из России на Украину, а также было заключено соглашение о транзите электроэнергии для обеспечения энергоснабжения Крыма.

22 ноября 2015 года экстремистами были осуществлены подрывы высоковольтных опор ЛЭП (Мелитополь — Джанкой, Каховская — Островская, Каховская — Титан и Каховская — Джанкой) поставки электроэнергии из Украины в Крым были прерваны.

8 декабря 2015 года Украина была возобновлена подача электроэнергии по ЛЭП Каховская — Титан, однако 30 декабря 2015 года подача электричества вновь была прекращена и на этот раз окончательно.

В конце 2015 года введена в работу первая очередь энергомоста, соединяющая Единую энергосистему России с крымской энергосистемой. Запущены 1 и 2 ветки суммарной мощностью 400 МВт соответственно. Это было началом создания новой энергетической системы Республики Крым и города Севастополя. Далее в тексте говоря о Крыме мы будем иметь ввиду и город Севастополь, поскольку он полностью интегрирован в энергетическую систему Крыма.

Установленные мощности, производство и потребление электроэнергии

Установленная электрическая мощность электростанций Республики Крым и Севастополя, в соответствии с Программой развития ЕЭС России на 2021–2027 годы, по итогам 2021 года, составляла 2105,9 МВт, в том числе тепло-

вые электрические станции (ТЭС) — 81,5%, генерация на основе возобновляемых источников энергии: солнечные (СЭС) и ветровые (ВЭС) электростанции — 18,5%.

Основные генерирующие мощности составляют Балаклавская ТЭС (470 МВт) г. Севастополь, Таврическая ТЭС (470 МВт) г. Симферополь и Сакская ТЭЦ (147,4 МВт) АО «КрымТЭЦ» Республики Крым.

В течении трех лет с 2010 по 2013 год при участии австрийской компании Activ Solar в Крыму были построены 5 солнечных фотоэлектрических станций общей мощностью 297,1 тыс. кВт: Родниковская СЭС (7,5 тыс. кВт), Митяевская СЭС (31,6 тыс. кВт), Охотниковская СЭС (82,7 тыс. кВт), Перовская СЭС (105,6 тыс. кВт), СЭС Николаевка (69,7 тыс. кВт).

Кроме того, в октябре 2014 года в эксплуатацию была введена Останкинская ВЭС мощностью 25 тыс. кВт. Ветроэнергетика на территории полуострова представлена четырьмя государственными предприятиями, осуществляющими опытно-промышленную эксплуатацию ВЭС. Из возобновляемой энергетики крупнейшим объектом генерации является СЭС Перово (105,6 тыс. кВт, ООО «Актив Солар»).

Также в 2020 году сдана в эксплуатацию вторая очередь энергомоста «Ростовская АЭС — Симферополь» и полная мощность электромоста составила 0,85 млн кВт. Конечной точкой энергомоста является Симферополь. Один из участков проложен по дну Керченского пролива.

Производство электроэнергии на полуострове в 2021 году составило 7,38 млрд кВт·ч (+13,5% к 2020 году), потребление — 9,39 млрд кВт·ч (+9,0%).

В Крыму сезонные колебания потребления электроэнергии имеют свои особенности. Минимум электропотребления отмечается в межсезонье, в зимние месяцы увеличивается доля электроэнергии, потребляемой на освещение и отопление, а летом резко возрастает электропотребление в курортной зоне, где широко используются системы кондиционирования.

Определение и структура распределенной энергетики

К технологиям распределенной энергетики (распределенных энергоресурсов, DER, Distributed Energy Resources) в мировой практике относят широкий спектр технологий, включая:

- распределенную генерацию (Distributed Generation);
- управление спросом (Demand Response);
- управление энергоэффективностью;
- микрогриды;
- распределенные системы хранения электроэнергии;
- электромобили.

Основное свойство вышеперечисленных технологий - близость к потребителю энергии.

Распределенная генерация (РГ) - это совокупность электростанций, расположенных близко к месту потребления энергии и подключенных либо непосредственно к потребителю, либо к распределительной электрической сети (в случае, когда потребителей несколько). Тип используемого станцией источника первичной энергии (например, органическое топливо или возобновляемая энергия), как и принадлежность станции к потребителю, генерирующей или сетевой компании, или третьему лицу не имеют значения.

При этом в зарубежной практике есть тенденция законодательно ограничивать мощность электростанций РГ верхней планкой в зависимости от применяемой технологии, что в основном связано с соображениями экологии и тем, что генерирующие мощности располагаются вблизи селитебных территорий и не должны оказывать отрицательного влияния на качество жизни населения.

Предлагаем, для ограничения мощности электростанций в системе распределенной генерации, использовать законодательно существующую границу 25 МВт (которая разделяет электростанции розничного и оптового рынков электроэнергии) [2]. Таким образом, к системам распределенной генерации, в соответствии с выше приведенным определением, можно отнести электростанции с установленной мощностью не более 25 МВт.

На рис. 1 приведена классификация электростанций по мощности.

В соответствии с приведенной классификацией к электростанциям распределенной генерации могут быть отнесены:

- Малые системы генерации (установленная мощность до 25МВт с агрегатами единичной мощностью до 10МВт);
- Малые электростанции мощностью от 1МВт до 25МВт;
- Миниэлектростанции мощностью от 100кВт до 1МВт;
- Микроэлектростанции мощностью до

100кВт

Анализируя состояния электроэнергетики Крыма можно выделить два основных направления генерации электроэнергии это электростанции, основанные на традиционных технологиях составляющие основу генерации: Балаклавская ТЭС, Таврическая ТЭС, Сакская ТЭЦ и электростанции основанные на нетрадиционных технологиях это солнечные и ветровые электростанции, установленная мощность которых составляет 18,5% от всей установленной мощности объектов генерации.

Архитектура энергосистемы - необходимые изменения

Полезно использовать потенциал распределенных энергоресурсов в Крыму будет возможно, если архитектура энергосистемы претерпит изменения в формате «энергетического перехода» - с учетом ряда территориальных, климатических и энергоресурсных особенностей, присущих районам Крыма. При этом в качестве объектов распределенной генерации целесообразно использовать существующие солнечные и ветровые электростанции, создавая на их базе энергетические кластеры обладающие определенной автономией в области генерации и реализации электроэнергии. При этом в проект реализации идей «энергетического перехода» необходимо включить следующие мероприятия:

- разработать переход к более гибкой архитектуре энергосистемы за счет увеличения доли распределенной генерации (в основном на ВИЭ) в энергобалансе, развития «умных» сетей во взаимосвязи с развитием хранения энергии, а также за счет появления «активных» потребителей:
- переход к базовым технологиям нового энергетического уклада: малая распределенная генерация (на базе ВИЭ), силовая электроника, хранение энергии, интеллектуальное управление, цифровые платформы и «большие данные», интернет вещей, новые финансовые технологии;
- переход к новой бизнес-модели электроэнергетики: от традиционной жесткой цепочки формирования добавленной стоимости «генерация - трейдинг передача - сбыт - потребитель» - в сторону «демократизации» электроэнергетики, появления новых участников рынка, гибкой организации энергообмена [2];
- трансформация системы регулирования рынка электроэнергетики: переход от поддержки производителей энергии (в т.ч.ВИЭ) и конкуренции на рынке электроэнергии к стимулированию активных потребителей, интеграции распределенной энергетики в общую энергосистему, переход к «гибкому рынку».
- привлечение активных потребителей - новых субъектов энергетики, которые, кроме традиционной функции потребления энергии от сторонних источников, выполняет также функцию накопления и генерации энергии (сочетание потребления с технологиями распределенной генерации, распределенного накопления, управления спросом и т.д.);
- совокупность электрических и цифровых каналов коммуникации и протоколов, позволяющих организовать автоматическое взаимодействие между субъектами электроэнергетического рынка;
- кибер-физическая электроэнергетическая система, объединяющая пользователей - активных потребителей - и обеспечивающая свободный обмен энергией между ними и позволяющая им предоставлять энергетические мощности во временное использование как потребителям кластера, так и передавать в сеть..

Влияние интеграции распределенной генерации на надежность систем распределения электроэнергии

Распределенная генерация влияет на работу электрических сетей, включая потоки мощности и напряжения, а также влияет на потери в энергосистеме. Во многих случаях ее влияние на потери положительное, так как такие установки часто располагаются близко к потребителям энергии. Это сокращает расстояние, на которое необходимо транспортировать энергию, и, следовательно, снижает потери. Она также может влиять на надежность и качество электроснабжения в электрической системе. Использование большинства возобновляемых источников энергии, таких как ветряные электростанции и фотоэлектрические системы, в качестве установок для распределенной генерации приводит к основным проблемам: изменчивости и неуправляемости выходной мощности. Однако использование систем накопления энергии является одним из наиболее подходящих решений в этой области. Они позволят оптимально управлять энергосистемой.

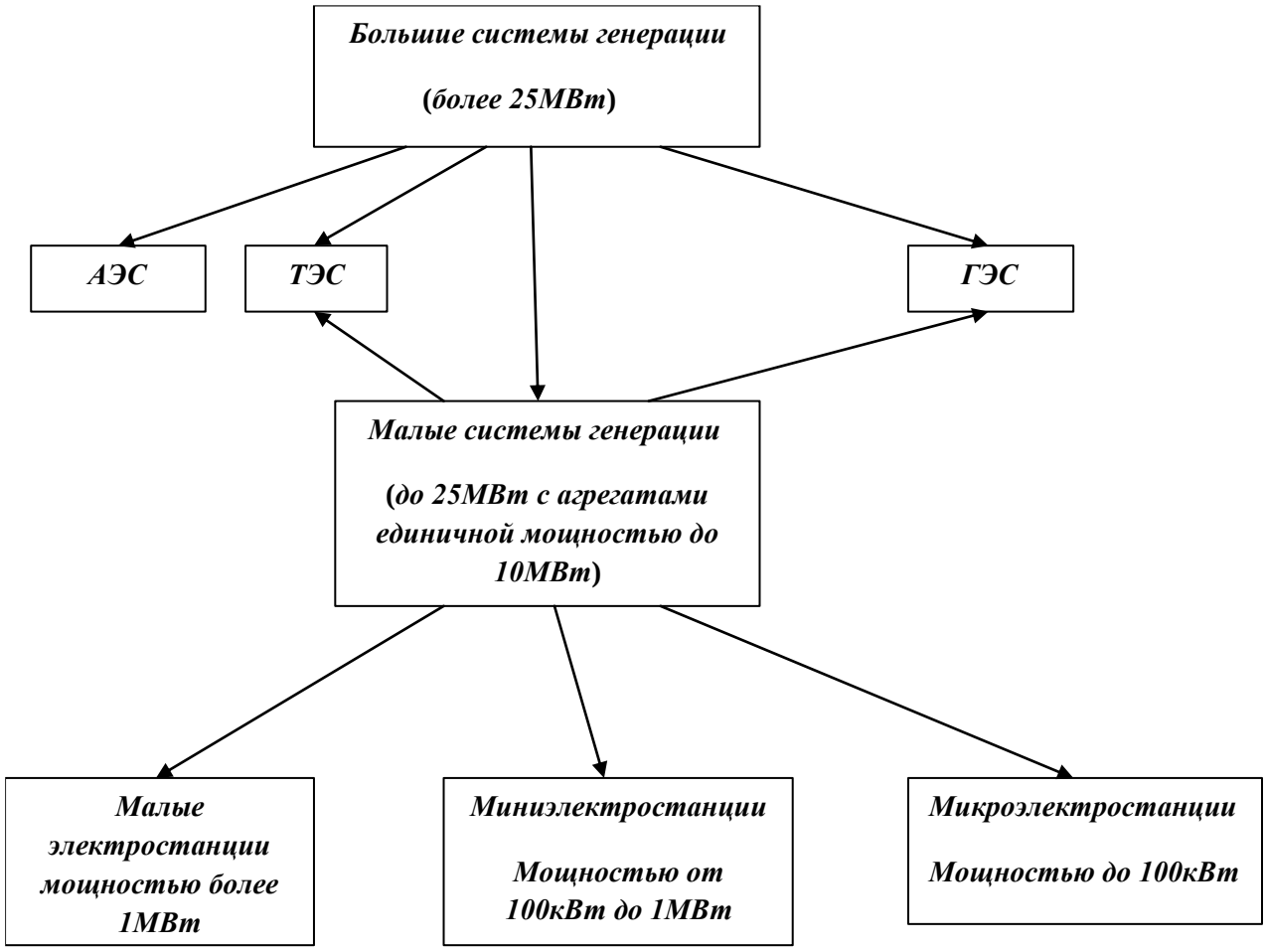


Рисунок 1. Классификация систем генерации.

Как правило, энергосистемы на основе распределенной генерации могут работать в автономном, или автономном и подключенном к сети режимах. Фактически в первом режиме

мощность установки для распределенной генерации выбираются только исходя из требований нагрузки. Но в последнем случае это ограничение не является определяющим.

Хотя режим работы с подключением к сети обычно предпочтительнее из-за двустороннего обмена энергией, условие изоляции является основной проблемой, которую следует учитывать. Изолированность означает, что одна или несколько электростанций, изолированных от энергосистемы, питают часть электрической сети самостоятельно и после некоторых сбоев в основной сети. Работа в изолированном режиме, особенно в условиях аварийных режимов нежелательна, так как этот режим может вызвать нежелательные проблемы, такие как создание опасности для обслуживающего и ремонтного персонала, а также повреждение оборудования из-за нестабильности напряжения и частоты [1].

Технические проблемы, которые необходимо учитывать при проектировании, эксплуатации и расширении существующего кластера распределенной генерации:

- Подключение установок для распределенной генерации к сети влияет на величину напряжение и стабильность частоты сети. В зависимости от типа и размера генераторов либо улучшает, либо ухудшает стабильность системы. Потому необходимо решать вопрос о надежной синхронизации системы

распределенных генераторов с сетью.

- Качество электроэнергии. Качество электроэнергии в сети в последнее время стало проблемой из-за более широкого использования силовых электронных устройств. Большинство распределенных генераторов подключены к сети через силовые электронные схемы. Таким образом, качество электроэнергии во многом зависит от надежности и качества работы этих электронных схем, а это, в свою очередь, зависит от их сложности и стоимости, поскольку в составе распределенной генерации могут использоваться самые разные источники, Эта проблема может быть решена только путем стандартизации силовых электронных схем и мониторинга качества электрической энергии. В противном случае использование этих силовых электронных интерфейсов будет усугублять уже существующую проблему качества электроэнергии [1].
- Колебания напряжения: мощность, подаваемая некоторыми технологиями использующими ВИ, такими как ветряные турбины и фотоэлектрические электростанции, колеблется. Это приводит к локальным колебаниям напряжения.
- Существует ограничение на количество блоков установок распределенной генерации, которые можно подключить к системе. Это ограничение зависит от размера и типа системы. Подаваемая реактивная мощность должна быть равна потребности в реактивной мощности, чтобы поддерживать уровень напряжения системы в допустимом диапазоне. Подключение большего количества блоков может увеличить подаваемую реактивную мощность, тем самым значительно повысив уровень напряжения в системе.
- Системы распределенной генерации в аварийных режимах увеличивают ток короткого замыкания при КЗ, потому возрастают требования к надежности защиты. Поэтому для их использования необходимо использовать усовершенствованные устройства защиты, что увеличивает стоимость системы [1].
- Существующая система радиального распределения и управления потоками мощности рассчитана на управление потоком только в одном направлении. При подключении установок распределенной генерации к сети поток мощности должен течь в обоих направлениях, в зависимости от потребления в данный момент времени. Поэтому современные системы нуждаются в модернизации.

Поскольку использование цифровых технологий является краеугольным камнем распределенной генерации и в связи с используемым в распределительной генерации электроэнергетическим оборудованием, произведенным разными фирмами, функционирующим, как правило, со своим оригинальным программным обеспечением, необходимо разработать программное обеспечение способное работать с разными используемыми протоколами.

Экономические проблемы:

- Из-за непредсказуемого характера стоимости топлива трудно правильно спланировать присоединение установок распределенной генерации к электрической сети. Это приводит к финансовым проблемам для клиентов.
- Сетевой оператор должен различать мощность от сети и мощность от таких генераторов.
- Как упоминалось ранее, необходимо усиление уже существующих защитных устройств, что увеличивает стоимость системы.
- Необходимые улучшения в системе увеличивают общую стоимость энергосистемы.

Заключение

С учетом перечисленных выше технических и экономических проблем имеет смысл создание энергетических кластеров, целью создания которых будет отработка технологий внедрения систем распределенной генерации.

Для этих целей идеально подходит Крымский полуостров, имеющий практически автономную («островную») энергетическую систему, в то же время имеющую надежную связь с энергетической системой материка. Кроме того природные факторы Крымского полуострова позволяют эффективно использовать существующие технологии ВИЭ такие как солнечные и ветровые источники энергии.

С целью создания кластеров необходимо провести следующие мероприятия.

Организационные:

- Создать научную базу по внедрению и отработке технологий распределенной генерации, используя возможности научных и учебных

заведений, сетевых предприятий и организаций.

- Определить территории энергетических кластеров с учетом их возможностей по внедрению технологий распределенной генерации.
- Проводить работу по привлечению к участию в системах распределенной генерации «активных потребителей».
- Установить статус «активных потребителей» в системе распределенной генерации в соответствии с существующим законодательством.

Технические мероприятия:

- Провести в энергетических кластерах инвентаризацию существующих источников электрической энергии с учетом назначенного ресурса.
- Выполнить модернизацию сети с целью обеспечения передачи мощности в обоих направлениях.
- Предусмотреть, в случае необходимости, возможность усовершенствования устройств защиты.
- Адаптировать программное обеспечение под протоколы передачи информации с учетом оригинального программного обеспечения энергетического оборудования поставленного зарубежными фирмами.

Экономические мероприятия:

- Разработать ценовую политику, в соответствии с существующим законодательством, с учетом стимулирования «активных потребителей».
- Отработать принципы взаимодействия с сетевым оператором.
- Выполнить расчеты финансовых затрат на создание и эксплуатацию кластеров распределенной генерации и определению сроков окупаемости по каждому кластеру и средних по проекту.

Обобщенный опыт эксплуатации кластеров распределенной генерации позволит определить их параметры с учетом местных особенностей и позволит разработать оптимальные варианты внедрения систем распределенной генерации с точки зрения повышения качества электроснабжения потребителей, с учетом финансовых затрат и получаемого экономического эффекта.

Список литературы

1. Гуревич Ю.Е. Особенности расчетов режимов в энергорайонах с распределенной генерацией: монография / Ю.Е. Гуревич, П.В. Илюшин. – Н. Новгород: НИУ РАНХиГС, 2018. – 280 с. ISBN 978-5-00036-226-6
2. Алексей Хохлов Распределенная энергетика в России: потенциал развития /Юрий Мельников, Федор Веселов, Дмитрий Холкин, Ксения Дацко// [Электронный ресурс].-2018. – Режим доступа http://energy.skolkovo.ru.
3. Авакян М.К. Методы решения глобальной условной оптимизации применительно к энергетическим системам / Авакян М.К., Перышкин М.Д., Какушина Е.Г., Решетникова Т.В., Соломоненко А.В.// Энергетические установки и технологии - 2020. Т. 6. № 4. С. 38-41.
4. 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.
5. 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.
6. Вологдин С.В. Анализ различных сценариев энергоснабжения Крыма с учетом режимов работы солнечной электростанции /Якимович Б.А., Кувшинов В.В., АбдАли Л. М., Какушина, Е. Г. и другие // Appl. Sol. Энергия, 2019, Том 55, № 4, С. 229–234.
7. Ю.Н. Кучеров Развитие технологий активного потребителя и их интеграция в электрическую сеть общего пользования / А.В. Иванов, Д.А. Корее, И.А. Уткин, А.З. Жук.// Энергетическая политика, 2018 вып.5, С. 73-87.
8. Распределенная энергетика позволяет более гибко планировать будущее энергосистемы [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: http://ac.gov.ru/events/014282.html
9. Доктрина энергетической безопасности Российской Федерации, утверждена Указом Президента Российской Федерации от 13 мая 2019 г. №216

References

1. Gurevich Yu.E. Features of calculations of modes in energy districts with distributed generation: monograph / Yu.E. Gurevich, P.V. Ilyushin. – Nizhny Novgorod: NIU RANEPA, 2018. – 280 p. ISBN 978-5-00036-226-6
2. Aleksey Khokhlov Distributed energy in Russia: potential development /Yuri Melnikov, Fedor Veselov, Dmitry Kholkin, Ksenia Datsko// [Elektronnyi resurs].-2018. – Access mode http://energy.skolkovo.ru.
3. Avakian M. K. Methods of solving global optimization applied to energy systems / Avagyan M. K., Peryshkin M. D., Kakushin E. G., Reshetnikova T. V., Solomonenko A. V.// Energy and technology - 2020. Vol. 6 No. 4. pp. 38-41.
4. Zaichenko V. M. Directions of energy development

/ Chernyavsky A. A., Kuvshinov V. V., Kakushina E. G., Abeidulin S. A. //Power plants and technologies. 2019-Vol. 5. No. 3. pp. 53-61.
5. Guryev, V. V., Development of renewable IP-source of electricity in the power system of the Republic of Crimea and Sevastopol / Kaku bus E. G., B. A. Yakimovich, Kuvshinov V. V.//Energy and technology 2019. Vol. 5 No. 2. pp. 90-93.
6. Vologdin S. V. Analiz razlichnykh scenariev energosnabzheniya Kryma s uchetom rezhimov work solar power plants / Yakimovich B. A., Kuvshinov V. V., AbdAli L. M., Kakushina, E. G. et al. / / Appl.Sol. Energy, 2019, Vol. 55, no. 4, pp. 229-234.
7. Yu.N. Kucherov Development of active consumer technologies and their integration into the public electric grid / A.V. Ivanov, D.A. Korea, I.A. Utkin, A.Z. Zhuk.// Energy Policy, 2018 vol.5, S. 73-87.
8. Distributed energy allows you to more flexibly plan the future of the energy system [Electronic resource]. – 2017. – Access mode: http://ac.gov.ru/events/014282.html
9. The Doctrine of Energy Security of the Russian Federation, approved by the Decree of the President of the Russian Federation dated May 13, 2019. No.216

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.313.333.077.02:621.314.001.7

Автоколебательные процессы при широтно-импульсном регулировании напряжения на якоре вентильного двигателя постоянного тока

В.Е. Высоцкий

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

Статья поступила 01.02.2023 г.; после доработки 03.02.2023 г.

Аннотация

В настоящей статье рассмотрены физические особенности электромагнитных и электромеханических процессов в регулируемых вентильных двигателях постоянного тока при широтно-импульсной модуляции напряжения на якоре. Проанализированы особенности влияния позиционно-зависимой коммутации и управления на функционирование таких вентильных электромеханических систем. В гребных электроприводах подвижных объектов применение регулируемого двигателя данного типа имеет то преимущество, по сравнению с асинхронным частотно-регулируемым двигателем с короткозамкнутым ротором, что обеспечивает необходимое число следующих друг за другом плавных пусков.

Ключевые слова: гребной электропривод, плавные пуски, реверс , вентильный двигатель, электромагнитное возбуждение, обмотка якоря, широтно-импульсное регулирование, автоколебательные процессы

Self-oscillatory processes in pulse- width regulation of phase voltages of a DC valve motor

V.E. Vysotsky

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

Paper received 01.02.2023 y.; received in final form 03.02.2023 y.

Abstract

In this article, the physical features of electromagnetic and electromechanical processes in regulated DC valve motors with pulse-width modulation of voltage on armature are considered. The features of the influence of position-dependent switching and control on the functioning of such valve electromechanical systems are analyzed. In rowing electric drives of mobile objects, the use of an adjustable motor of this type has the advantage, compared with an asynchronous clock-controlled motor with a short-circuited rotor, which provides the necessary number of consecutive smooth starts.

Keywords: electric propeller drive, smooth starts, reverse, valve motor, electromagnetic excitation, armature winding, pulse width control, self-oscillating processes.

Введение

За сравнительно небольшой срок, прошедший со времени появления первых промышленных партий вентильных двигателей (ВД) на тиристорах и транзисторах, разработаны различные методы реализации позиционно-зависимого

управления и способы коммутации управляемых вентильных коммутаторов (УВК) [1,2]. В связи с этим наметились две основные тенденции рассматриваемой области электромеханики. С одной стороны, это совершенствование схем и конструкций вентильных двигателей на базе современной силовой полупроводниковой техники и интегральной электроники, с другой – углубленное теоретическое исследование таких машин. Обе эти тенденции тесно взаимосвязаны и обусловлены рядом проблем по созданию экономичного и высоконадежного бесколлекторного электропривода постоянного тока. Среди них следует отметить проблемы коммутационной и динамической устойчивости, воздействия позиционной обратной связи на комплекс электромагнитных и электромеханических процессов в ВД(рис. 1)

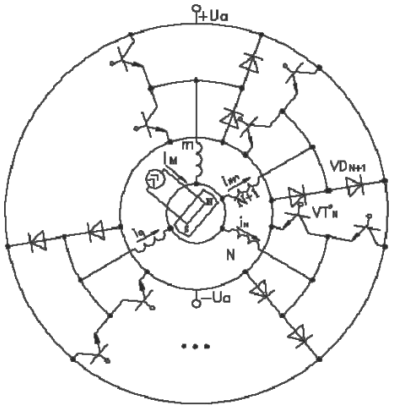


Рис.1. Электромагнитная схема*m*-фазного ВД с УВК на полностью управляемых вентилях.

Выявление характерных особенностей данного класса вентильных электромеханических систем безотносительно к конкретным вариантам схем и областям применения позволит установить их наиболее общие свойства. Это, в свою очередь, даст возможность проанализировать наиболее сложные переходные процессы, а также определить условия статической и динамической устойчивости исследуемого объекта.

Электромагнитное взаимодействие между индуктором и обмоткой якоря синхронной электрической машины ВД, обтекаемой несинусоидальным током, вносит существенную специфику в процесс энергопреобразования и его эксплуатационные характеристики.

Частота вращения ω в электроприводе с ВД может регулироваться изменением напряжения на обмотке якоря Ua и ослаблением основного магнитного потока. В ВД с постоянными магнитами ослабление потока осуществляется путем изменения потокосцепления эквивалентной якорной обмотки за счет регулирования угла управления УВК. Регулирование ω у ВД посредством изменения U_a имеет свои особенности и требует более внимательного изучения.

В гребных электроприводах подвижных объектов применение регулируемого двигателя данного типа имеет то преимущество, по сравнению с асинхронным частотно-регулируемым двигателем с короткозамкнутым ротором, что обеспечивает необходимое число плавных пусков и реверсов.

В настоящей статье рассматриваются особенности регулирования частоты вращения ВД постоянного тока на полностью управляемых вентилях с электромагнитным возбуждением.

Цель и задачи работы

Цель заключается в выявлении особенностей широтно-импульсного регулирования (ШИР) напряжения на обмотке якоря

Это достигается:

во-первых, представлением кривой напряжения в виде гармонического ряда и анализом влияния скважности ШИР на «полезную» составляющую и спектр гармоник;

во-вторых, оценкой качественного и количественного состава токов, протекающих по обоим контурам машины при ШИР для различных законов распределения магнитной индукции вдоль воздушного зазора;

в-третьих, исследованием влияния комбинационных гармоник токов и составляющих электромагнитного момента инфранизких частот на устойчивость работы двигателя.

Результаты исследования

При ШИР силовые вентили УВК периодически открываются и закрываются в течение интервала своей работы в соответствии с величиной подаваемого на двигатель напряжения (рис. 2).

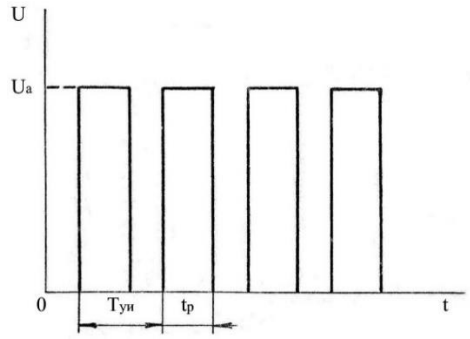


Рис.2. Напряжение на якоре ВД при ШИР.

Эту кривую напряжения можно представить в виде гармонического ряда

$$U(t) = U_a^0 + \sum_{\substack{r=-\infty \\ r \neq 0}}^{\infty} U_a^r e^{j(r\Omega t + \phi_r)},$$

$$U_a^0 = U_a \frac{\tau\xi}{2\pi}, \quad U_a^r = (-1)^r \frac{U_a}{r\pi} \sin\frac{r\tau\xi}{2}, \qquad (1)$$

где Ω - частота основной гармоники переменной составляющей напряжения;

$\tau = \dfrac{t_{\text{раб}}}{T_{\text{уи}}}$ – скважность импульсов управления;

$\xi = \Omega/\omega$ – кратность частоты переключений к основной частоте вращения.

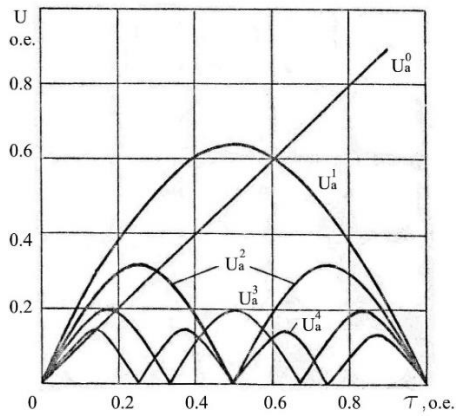


Рис.3. Изменение гармонических составляющих напряжения на якоре ВД в зависимости от скважности импульсов ШИР.

Постоянная составляющая U_a^0 является определяющей для частоты вращения и момента двигателя. Изменением соотношения $\tau = t_{\text{раб}} / T_{\text{уи}}$ можно регулировать величину U_a^0, задавая, тем самым, режим работы двигателя. Анализ выражения (1) показывает, что с уменьшением скважности τ постоянная составляющая напряжения U_a^0 изменяется пропорционально τ.

Переменные составляющие U_a^0 при полностью открытых вентилях ($\tau = 1$) равны нулю, а с уменьшением τ амплитудные значения U_a^0 изменяются согласно зависимостям, представленным на рис.3. При $\tau = 0{,}5$ первая гармоника напряжения достигает своего максимального значения, тогда как постоянная составляющая U_a^0 имеет значительно меньшую величину, чем при $\tau = 1$.

Электромагнитные процессы в вентильном двигателе, регулируемом с помощью ШИР, таким образом, будут отличаться от процессов в вентильном двигателе, напряжение питания которого не имеет в своем составе переменных составляющих.

Для того, чтобы оценить качественный состав токов, протекающих по обоим контурам машины при ШИР, отметим следующее.

Допущение о линейности вентильного двигателя позволяет применить принцип суперпозиции, благодаря чему ток, протекающий по контурам машины, будет равен сумме токов, возникающих от каждой составляющей приложенного напряжения.

Для случая синусоидального закона распределения индукции в воздушном зазоре при подключении к обмотке якоря постоянного напряжения по ней протекает ток вида

$$i_a(t) = \sum_{S=-\infty}^{\infty} I_a^S e^{jS\theta t}, \theta = 2m\omega.$$

Для r-ой гармоники приложенного напряжения частное решение системы уравнений ВД [3] будет

$$i_a(t) = \sum_{S=-\infty}^{\infty} I_a^{r,S} e^{j(r\Omega + S\theta)t},$$

а при учете всех составляющих напряжения (1) ток якоря можно представить следующим выражением

$$i_a(t) = \sum_{S=-\infty}^{\infty} \sum_{r=1}^{\infty} I_a^{r,S} e^{j(r\Omega + S\theta)t}. \qquad (2)$$

Для случая трапецеидального закона изменения поля в зазоре при учете только постоянной составляющей напряжения ток в обмотке якоря будет

$$i_a(t) = \sum_{S=-\infty}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} I^S_{a,n} e^{jS\theta t}.$$

Используя систему уравнений [4], можно записать ток в виде:

$$i_a(t) = \sum_{S=-\infty}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} I_{a,n}^{S,r} \; e^{j(r\Omega + S\theta)t}. \quad (3)$$

Окончательно выражение для тока якоря будет представлять собой сумму решений вида (3) для всех гармоник приложенного напряжения вида (1)

$$i_a(t) = \sum_{S=-\infty}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{r=1}^{\infty} I_{a,n}^{S,r} \; e^{j(r\Omega + S\theta)t}. \quad (4)$$

Определение амплитуд токов якоря, как при синусоидальном, так и при трапецеидальном распределении индукции в воздушном зазоре должно производиться отдельно для каждой составляющей приложенного напряжения. При подстановке тока в виде (2) и (4) в уравнение равновесия [3] получаются уравнения, каждое из которых распадается на r систем алгебраических уравнений произвольного порядка. Решение любой из систем проводится аналогично решениям, описанным в [3,4] для различных законов распределения индукции в зазоре.

Токи, протекающие по обмотке якоря затем определятся в дальнейшем как суммы частных решений для каждой *r* – ой гармоник приложенного напряжения.

В системах ШИР частоту переключений Ω выбирают, как правило, значительно выше, чем максимальная частота вращения двигателя. Поэтому при достаточно большой величине U_a^0 гармонические составляющие тока якоря, вызванные переменными напряжениями $U_a^n e^{j(n\Omega t+\varphi_n)}$ (где *n*= 1,3,5,… ∞) оказываются пренебрежимо малыми в сравнении с постоянной составляющей тока якоря I_a^0 и их влияние на работу двигателя незначительно.

В процессе регулирования уменьшение U_a^0 повлечет и соответствующее снижение I_a^0, в то время как величина переменных составляющих тока может увеличиться.

Постоянная составляющая U_a^0 вызывает в якоре двигателя, как было показано, ток вида

$$i_a = I_a^0 + \sum_{S=1}^{\infty} I_a^S \cos(k\theta t + \phi_a^S).$$

В то же время первая гармоника U_a^0 вызовет колебание тока соответствующей частоты Ω, то есть

$$i_a = I_a^1 \cos(\Omega t + \varphi_1), \quad (5)$$

которое должно быть одним из частных решений системы дифференциальных уравнений [3], если правая часть этой системы представляет собой периодическую функцию вида (1) и, учитывая, что взаимную индуктивность по оси *d* можно записать как

$$M^d(\omega t) = M_0^d + M_k^{d\cos} \sum_{k=1}^{\infty} \cos(\kappa\theta t + \phi^k)$$

а ток возбуждения i_f в первом приближении считать идеально сглаженным, получим

$$\Omega M_0^d I_a \cos(\Omega t + \varphi_1 + \frac{\pi}{2}) + 0.5 I_a \sum_{\kappa=1}^{\infty} (k\theta + \Omega) M_k^{d\cos} \cos[(k\theta + \Omega)t + \varphi^k + \frac{\pi}{2}] +$$

$$+ 0{,}5 I_a \sum_{\kappa=1}^{\infty} (k\theta - \Omega) M_k^{d\cos} \cos[(k\theta - \Omega)t - \varphi^k + \frac{\pi}{2}] + i_f R_f = U_f,$$

где

$$M_0^d = \frac{m}{\pi} M_m \sin\frac{\pi}{m} \cos\beta_0; \qquad M_k^{d\cos} = \frac{2m}{\pi} M_m \sin(\frac{\pi}{m}) \cos\beta_0 \frac{1}{4m^2k^2 - 1}. \quad (6)$$

Поскольку определение амплитуд токов $I_{a,f}^{s,\kappa,n}$ должно производиться отдельно для каждой составляющей приложенного напряжения, то при решении системы дифференциальных уравнений она распадается на *N* систем алгебраических уравнений произвольного порядка [4], имеющих вид

$$
\begin{aligned}
&[0{,}5(\Omega+S\theta)\sum_{\kappa=1}^{\infty}\dot{L}_{\kappa}^{*}-0{,}5j\sum_{\kappa=1}^{\infty}\dot{X}_{L,\kappa}]\dot{I}_a^{(S-\kappa)}+[0{,}5(\Omega+S\theta)\sum_{\kappa=1}^{\infty}\dot{M}_{\kappa}-0{,}5j\sum_{\kappa=1}^{\infty}\dot{X}_{M,\kappa}]\dot{I}_f^{(S-\kappa)}+\\
&+[j(\Omega+S\theta)L_0+X_{L0}+R_a]\dot{I}_a^{S}+[j(\Omega+S\theta)M_0+X_{M0}]\dot{I}_f^{S}+[-0{,}5(\Omega+S\theta)\sum_{\kappa=1}^{\infty}\overset{*}{L}_{\kappa}+\\
&+0{,}5j\sum_{\kappa=1}^{\infty}\overset{*}{X}_{L,\kappa}]\dot{I}_a^{(S+\kappa)}+[-0{,}5(\Omega+S\theta)\sum_{\kappa=1}^{\infty}\overset{*}{M}_{\kappa}+0{,}5j\sum_{\kappa=1}^{\infty}\overset{*}{X}_{M,\kappa}]\dot{I}_f^{(S+\kappa)}=\dot{U}_a(n,S),\qquad(7)\\
&[0{,}5(\Omega+S\theta)\sum_{\kappa=1}^{\infty}\dot{M}_{\kappa}-0{,}5j\sum_{\kappa=1}^{\infty}\dot{X}_{M,\kappa}]\dot{I}^{(S-\kappa)}+j(\Omega+S\theta)M_0I_a^{S}+[j(\Omega+S\theta)L_f+R_f]\dot{I}_f^{S}+\\
&+[-0{,}5(\Omega+S\theta)\overset{*}{M}_{\kappa}+0{,}5j\sum_{\kappa=1}^{\infty}\overset{*}{X}_{M,\kappa}]\dot{I}_a^{(S+\kappa)}=U_f(S),
\end{aligned}
$$

где

$$
\begin{aligned}
&\dot{U}_a(n,S)=U^n e^{j\varphi_n}\\
&\dot{U}_a(n,S)=0\\
&U_f(S)=U_f^0\\
&\dot{U}_f(S)=0
\end{aligned}
$$

при

$$
\begin{aligned}
&S=0;\\
&S\neq 0;\\
&S=0;\\
&S\neq 0.
\end{aligned}
$$

$$\dot{L}_k=0{,}5\cdot\left(L_k^{\cos}-jL_k^{\sin}\right);$$

$$\overset{*}{L}_k=0{,}5\cdot\left(L_k^{\cos}+jL_k^{\sin}\right);$$

$$L_k^{\cos}=\frac{m}{\pi}2\cos^2\frac{\pi}{2m}\left(L_d-L_q\right)\sin\frac{\pi}{m}\cos 2\beta_0\frac{1}{m^2k^2-1};$$

$$L_k^{\sin}=\frac{m}{\pi}2\cos^2\frac{\pi}{2m}\left(L_d-L_q\right)\sin\frac{\pi}{m}\sin 2\beta_0\frac{mk}{m^2k^2-1};$$

$$\dot{M}_k=0{,}5\cdot\left(M_k^{\cos}-jM_k^{\sin}\right);$$

$$\overset{*}{M}_k=0{,}5\cdot\left(M_k^{\cos}+jM_k^{\sin}\right);$$

$$M_k^{\cos}=\frac{2m}{\pi}M_m\sin\frac{\pi}{m}\sin\beta_0\frac{1}{4m^2k^2-1};$$

$$M_k^{\sin}=\frac{2m}{\pi}M_m\sin\frac{\pi}{m}\cos\beta_0\frac{2mk}{4m^2k^2-1};$$

$$L_0=\frac{m}{\pi}2\cos^2\frac{\pi}{2m}\left(L_d-L_q\right)\sin\frac{\pi}{m}\cos 2\beta_0;$$

$$M_0=\frac{2m}{\pi}M_m\sin\frac{\pi}{m}\sin\beta_0;$$

$$\chi_{L_0}=\omega\frac{m}{\pi}2\cos^2\frac{\pi}{2m}\left(L_d-L_q\right)\sin\frac{\pi}{m}\sin 2\beta_0;$$

$$\chi_{M_0}=\omega\frac{2m}{\pi}M_m\sin\frac{\pi}{m}\cos\beta_0;$$

$$\dot{\chi}_{L,k}=0{,}5\cdot\left(\chi_{L,k}^{\cos}-j\chi_{L,k}^{\sin}\right);$$

$$\overset{*}{\chi}_{L,k}=0{,}5\cdot\left(\chi_{L,k}^{\cos}+j\chi_{L,k}^{\sin}\right);$$

$$\chi_{L,k}^{\cos}=\omega\frac{m}{\pi}2\cos^2\frac{\pi}{2m}\left(L_d-L_q\right)\sin\frac{\pi}{m}\sin 2\beta_0\frac{1}{m^2k^2-1};$$

$$\chi_{L,k}^{\sin}=\omega\frac{m}{\pi}2\cos^2\frac{\pi}{2m}\left(L_d-L_q\right)\sin\frac{\pi}{m}\cos 2\beta_0\frac{mk}{m^2k^2-1};$$

$$\dot{\chi}_{M,k}=0{,}5\cdot\left(\chi_{M,k}^{a,\cos}-j\chi_{M,k}^{a,\sin}\right);$$

$$\overset{*}{\chi}_{M,k}=0{,}5\cdot\left(\chi_{M,k}^{a,\cos}+j\chi_{M,k}^{a,\sin}\right);$$

$$\chi_{M,k}^{\cos}=\omega\frac{2m}{\pi}M_m\sin\frac{\pi}{m}\cos\beta_0\frac{1}{4m^2k^2-1};$$

$$\chi_{M,k}^{a^{\sin}}=\omega\frac{2m}{\pi}M_m\sin\frac{\pi}{m}\sin\beta_0\frac{2mk}{4m^2k^2-1}.$$

Количество N этих систем уравнений произвольного порядка определяется заданной точностью определения токов якоря и возбуждения и порядком их убывания.

Для того, чтобы определить порядок убывания гармонических составляющих токов $I_a^{n_1S}$,

$I_f^{n_1 S}$ и необходимое число уравнений, можно воспользоваться аналитическими выражениями для токов при нулевом ($S = 0$) приближении решения выделенных определителей, поскольку именно нулевые составляющие периодических коэффициентов являются определяющими при решении систем произвольного порядка подобного вида.

Таким образом, при $S = 0$, получим

$$(j\Omega L_0 + X_{L0} + R_a)\dot{I}_a^{n,0} + (j\Omega M_0 + X_{M0})I_f^{n,0} = \dot{U}_a(n),$$

$$j\Omega M_0 I_a^{n,0} + (j\Omega L_f + R_f)\dot{I}_f^{n,0} = U_f(0).$$

Что же касается цепи якоря, то с учетом изложенного и, принимая во внимание (5), для переменных составляющих I_a^n можно записать

$$I_a^n = (-1)^n \frac{2U_a \sin n\pi\tau}{n\pi(jn\Omega L_0 + X_L^0 + R_a}. \qquad (8)$$

Анализ полученного выражения (8) показывает, что с увеличением номера n характер убывания гармонических составляющих тока достаточно сложен и неоднозначен для различных углов регулирования скважности широтно-импульсного сигнала τ.

Представленная на рис. 4 зависимость высших гармонических относительно первой гармоники тока показывает, что при определенных значениях скважности τ некоторые гармоники более высокого порядка принимают значения, превышающие величину гармоник более низкого порядка. Следовательно, ряд, коэффициенты которого определяются выражением (8), имеет плохую сходимость, что не позволяет достаточно просто оценить возможность его усечения.

Анализ этих кривых показывает, что при значительных нагрузках на валу двигателя, как первая, так и высшие составляющие тока имеют относительно небольшое значение во всем диапазоне изменения τ, если $\xi > 8$.

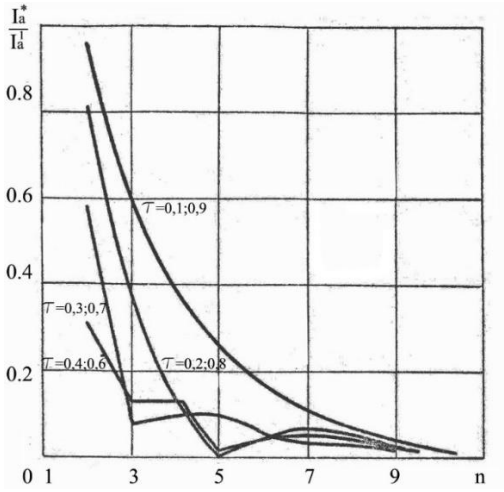


Рис.4. Относительные амплитуды высших гармоник тока при различной скважности широтно-модулированного сигнала.

При $n = 0$ выражения для постоянных составляющих токов I_a^0, I_f^0 аналогичны выражениям, полученным в [4] а величина напряжения на якоре определяется скважностью управляющих импульсов τ.

Для каждого n, отличного от нуля, можно приближенно определить гармонические составляющие токов, отметив следующее.

Поскольку напряжение на индукторе U_f не содержит переменных составляющих, то при $n \neq 0$, $U_f(n) = 0$. Кроме того, при работе вентильного двигателя с углом $\beta = 0$, взаимная индуктивность M_0, зависящая от величины sinβ, также равна нулю. Поэтому числитель второго выражения в (7) отсутствует, вследствие чего ток в контуре возбуждения определяется только напряжением U_f^0, активным сопротивлением R_f и не содержит гармонических составляющих.

Исходя из этого составляющие токов якоря и возбуждения при широтно-импульсном регулировании напряжения на якоре ВД с учетом принципа позиционно-зависимого управления вентильным коммутатором, определяются следующими выражениями

$$I_a^n = \frac{U_a(n)(jn\Omega L_f + R_f) + U_f(0)(jn\Omega M_0 + X_{M0})}{(jn\Omega L_0 + X_{L0} + R_a)(jn\Omega L_f + R_f) - jn\Omega M_0(jnM_0 + X_{M0}},$$

$$I_f^n = \frac{U_f(0)(jn\Omega L_0 + X_{L0} + R_a) - U_a(n)jn\Omega M_0}{(jn\Omega L_0 + X_{L0} + R_a)(jn\Omega L_f + R_f) - jn\Omega M_0(jnM_0 + X_{M0}}.$$

Однако, величина переменных составляющих тока якоря в значительной степени зависит и от частоты переключений Ω, причем при достаточно больших частотах переключений Ω выс-

шие гармонические токов становятся пренебрежимо малыми относительно постоянной составляющей.

Характер изменения первой гармонической тока якоря в зависимости от кратности частоты переключения к частоте вращения двигателя ξ для различных значений скважности τ и нагрузок на валу двигателя показан соответственно на рис. 5.

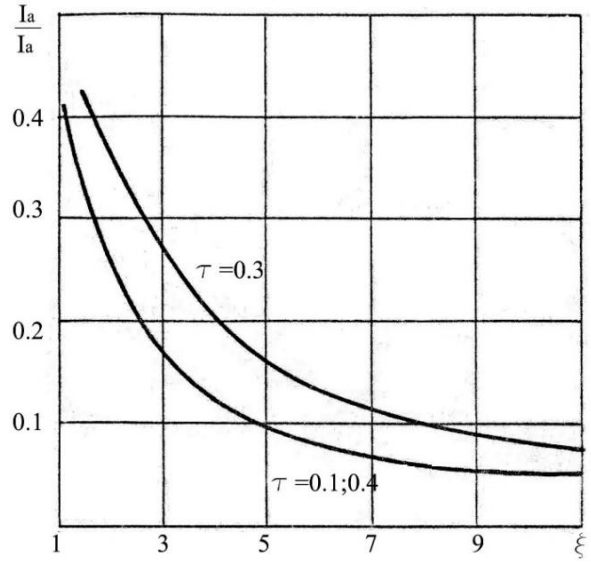


Рис.5. Зависимость амплитуды первой гармоники тока I_a^1 относительно постоянной составляющей при различной скважности и нагрузках ВД.

Если же нагрузка двигателя мала, то пренебрежение первой гармоникой уже не может быть допустимо даже при ξ = 10 (рис 5), причем наибольшую величину эта гармоника имеет при τ = 0,5, что обусловлено максимальным значением первой гармоники приложенного напряжения (рис. 2)

Вторая и последующие гармоники становятся незначительными при ξ > 8 во всем диапазоне изменения нагрузки и параметра регулирования τ (рис. 6).

Таким образом, если частота переключений при ШИР на порядок выше частоты вращения двигателя, то в номинальном режиме работы двигателя можно учитывать только постоянную составляющую приложенного напряжения. Однако, при сбросе нагрузки учет только постоянной составляющей может оказаться недостаточным и в этом случае следует учесть ещё и первую гармонику переменного напряжения, тем более, что в диапазоне регулирования при τ =0,5 амплитудное значение первой гармоники тока может достигать 30% от постоянной составляющей.

Следовательно, при решении системы дифференциальных уравнений (7) она распадается на две системы алгебраических уравнений произвольного порядка, из которых могут быть определены комплексные амплитуды составляющих тока якоря и возбуждения.

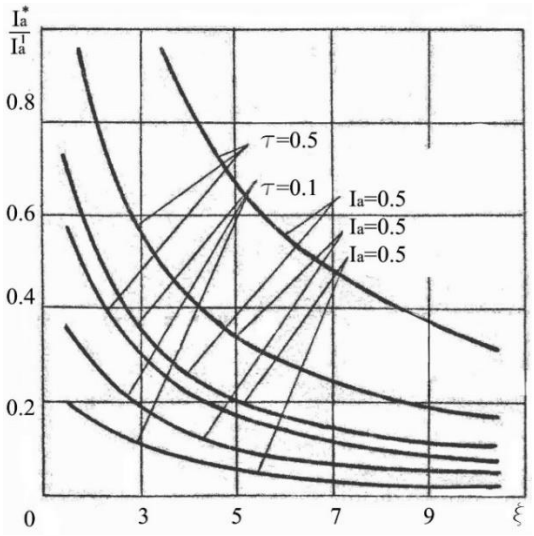


Рис.6. Зависимость относительной амплитуды второй гармоники тока от кратности частоты переключений для различной скважности ($I_a^0 = 0.5 I_{a\text{ном}}$).

При этом одна из этих систем позволяет определить составляющие тока частот $S\theta$, вызванные постоянным напряжением на якоре, вторая – составляющие тока комбинационных частот, ($\Omega \pm S\theta$), вызванные первой гармоникой питающего напряжения.

Одним из наиболее важных моментов при решении второй системы уравнений является определение составляющих токов инфранизких частот, появляющихся при частоте переключений Ω близкой $S\theta$ и вызывающих «качания» двигателя.

В этой связи можно отметить следующее. Наибольшая вероятность появления «качаний» возникает при небольших нагрузках двигателя, когда частота вращения выше, чем в номинальном режиме. Такое положение объясняется тем, что равенство частот Ω и $S\theta$, для больших частот вращения имеет место при меньших *S*, а поскольку высшие гармонические убывают пропорционально *S*, то токи и соответственно, составляющая момента вращения инфранизких частот имеют большое значение на высоких скоростях.

Очевидно, в процессе регулирования при широком диапазоне изменения скорости «качания» появляются для нескольких дискретных значений τ. Однако, величина их может быть

настолько незначительной, что благодаря инерционности ротора они практически не повлияют на работу двигателя. Причем, чем выше частота переключений Ω, тем меньше величина составляющих тока и момента инфранизких частот. Поскольку чрезмерное увеличение Ω приводит к возрастанию потерь и, соответственно, его габаритов, вопрос об определении минимума частоты переключений при достаточно малых составляющих момента инфранизких частот является весьма важным и должен решаться конкретно для каждого типогабарита ВД, исходя из заданного диапазона регулирования, момента сопротивления на валу, конструктивных параметров и характеристик.

Расчет составляющих электромагнитного момента для опытного образца ВД показал, что наибольшее значение момента комбинационных частот $M_{ЭМ}^{КЧ.}$ имеет место в пределах от 0,5 U_a^0 до 0,7 U_a^0 и определяется в основном первой гармоникой переменного напряжения (рис. 7).

Некоторый сдвиг вправо максимального значения $M_{ЭМ}^{КЧ.}$ относительно 0,5 U_a^0 объясняется небольшим влиянием второй составляющей гармонического напряжения на якоре.

Следует отметить, что величина составляющих момента комбинационных частот пренебрежимо мала во всем диапазоне регулирования τ, если отношение частоты переключений к частоте вращения двигателя более 10 (рис. 7).

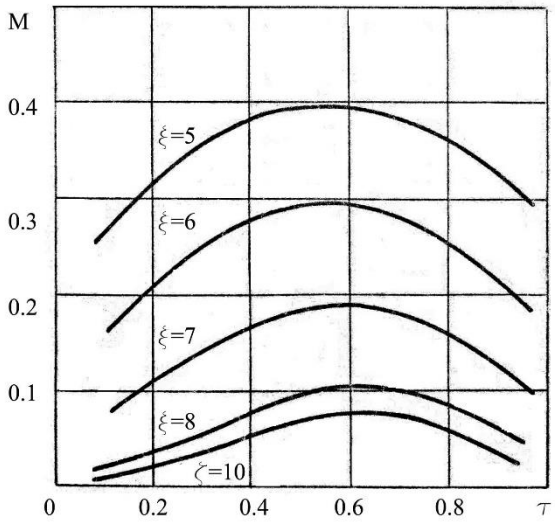


Рис.7. Зависимость момента комбинационных частот от скважности.

При меньшей кратности составляющие момента могут вызвать уже заметные «качания» в работе двигателя, так как, например, при кратности, равной 7, эта составляющая достигает 12…15% от номинального момента.

Функциональная схема электропривода с ВД включает: синхронную машину с электромагнитным возбуждением - электромеханическую часть (ЭМ), датчики положения ротора (ДПР); вентильный преобразователь с позиционно-зависимой коммутацией (УВК); систему управления (СУ) (рис. 8), определяющую режимы работы двигателя; два управляемых выпрямителя (УВ1 и УВ2), один из которых обеспечивает регулируемое питание цепи якоря, а другой – обмотки возбуждения; датчик тока (ДТ), предусмотренный для защиты от перегрузки и коротких замыканий в ВД и УВК.

Трехфазная обмотка якоря синхронной машины, соединенная в звезду, расположена, как и обычно, на статоре. Индуктором является ротор явнополюсной конструкции, а напряжение на его обмотку подается через контактные кольца.

Функциональная схема широкорегулируемого электропривода с ВД приведена на рис. 8, а технические данные электромеханической части – явнополюсной синхронной машины с электромагнитным возбуждением – в табл.1.

Таблица1. Основные технические данные ЭМ ВД

Pн	***Uф***	***Iф***	***m***	***If***	***Rф***	***Rf***	***Ld/Lq***	***2p***
4,5 кВт	220 В	11,3 А	3	11,3	0,76 Ом	2,28 Ом	1,38	4

При ШИР напряжения на якорной обмотке в случае использования постоянных магнитов имеются некоторые особенности, в отличие от ВД с электромагнитным возбуждением.

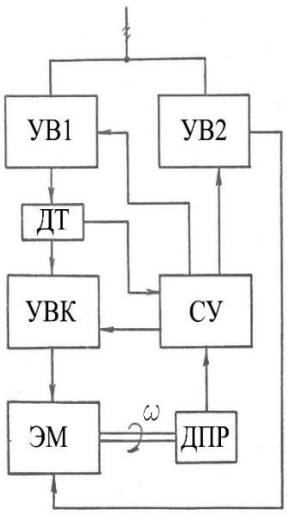


Рис. 8. Функциональная схема ВД.

При создании поля постоянными магнитами (согласно (2) и (4)) частоты токов при ШИР кратны лишь $(Sk\theta + r\Omega)$, то есть в спектре тока якоря отсутствуют комбинационные составляющие кратные «*Sk*», а также «$r\Omega$».

Таким образом, сама замена обмотки возбуждения постоянными магнитами приводит при ШИР к улучшению гармонического состава кривой тока якоря. Однако, значительное увеличение частоты переключений, Ω т.е. несущей частоты ШИР влечет за собой рост потерь в преобразователе и, как следствие, увеличение массы и габаритов охлаждающих радиаторов силовых ключей УВК.

Заключение

Таким образом, при ШИР вентильный двигатель имеет регулировочные характеристики, аналогичные коллекторному двигателю при якорном управлении, а переменные составляющие электромагнитного момента частот ($S\theta \pm n\Omega$) при достаточно высокой кратности частоты переключений ($\xi \geq 10$) не оказывают существенного влияния на работу двигателя.

В ВД с электромагнитным возбуждением в цепи возбуждения имеют место трансформаторные э.д.с. частоты $(Sk\theta \pm r\Omega)$, под действием которых возникают в цепи якоря э.д.с. и токи частоты, кратной также $(Sk\theta \pm r\Omega)$.

Список литературы

1. Лебедев Н.И. Вентильные электрические машины**.** Отв. ред. И.А. Глебов / Н.И. Лебедев, В.М. Гандшу, Я.И. Явдошак. РАН. Науч. исслед. ин-т электромашиностроения.- СПб.: Наука, 1996 – 352 с .
2. Константинов В.Г. Вентильные двигатели с аналоговыми и цифровыми системами регулирования, управления для электроприводов автономных объектов / В.Г. Константинов, В.С.Крылов // Электротехника. - 1996. - №5. - С. 32 – 41.
3. Высоцкий В.Е. Вентильные двигатели-генераторы для электроэнергетических комплексов автономных объектов. / В.Е. Высоцкий // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии», г. Тольятти.- Тольятти: ТГУ, 2004. - С. 60 – 64.
4. Высоцкий В.Е. Математическое моделирование вентильных двигателей с искусственной коммутацией / В.Е. Высоцкий - Самара: СамГТУ, 2004. - 348 с.

References

1. Lebedev N.I., GandshuV.M., YavdoshakYa.I., Ed. by I.A. GlebovVentilnieelektricheskie-mashini[Valve electric machines].RAS. Scientific research. Institute of Electrical Engineering. St. Petersburg: Nauka Publ., 1996. 352 p.
2. Konstantinov V.G., Krylov V.S. Valve motors with analog and digital control systems for electric drives of autonomous objects. Elektrotechnika 1996, №.5, pp. 32 – 41(In Russ.)
3. Vysotsky V.E. Valve motors-generators for electric power complexes of autonomous objects.*MaterialyVserossiyskoynauchno-tekhnicheskoykonferentsii "*Problems of electrical engineering, electric power and electrical engineering", Tolyatti: TSU, 2004, pp. 60-64.
4. Vysotsky V.E. *Matematicheskoe modelirovanieventil'nih dvigateley s iskusstvennoykommutatsiey* [Mathematical modeling of valve motors with artificial switching]. Samara, SamSTU, 2004. - 348 p.

УДК 656.13

Мировые тенденции развития электротранспорта

Гайдук С.В.[1], Мирошниченко Е.В.[2], Петула А.С.[3]
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, yursvetden@mail.ru, evgenijamir@50gmail.com, kochanova.1579@mail.ru

Статья поступила 22.02.2023 г.; после доработки 27.02.2023 г.

Аннотация

В последние годы значительно увеличились выбросы парниковых газов, крупнейшим источником которых является транспортный сектор. В связи с этим растёт популярность электромобилей. В отличие от транспортных средств, работающих на ископаемом топливе, электромобили потребляют электроэнергию, которая может быть выработана из различных возобновляемых источников, а так как, у электромобилей нулевые выбросы, то они могут снизить зависимость от ископаемого топлива и сократить выбросы парниковых газов в атмосферу.

Ключевые слова: электромобиль (ЭМ), беспроводная передача энергии (БПЭ), энергособиратели, энергоэффективность, энергосистемы.

Global trends in the development of electric transport

Gaiduk S.V.[1], Miroshnichenko E.V.[2], Petula A.S.[3]
Sevastopol State University, 33 Universitetskayast., Sevastopol, 299053, Russia, yursvetden@mail.ru, evgenijamir@50gmail.com, kochanova.1579@mail.ru

Received 22.02.2023 y.; received in final form 27.02.2023 y.

Annotation

Greenhouse gas emissions have increased significantly in recent years, the largest source of which is the transport sector. In this regard, the popularity of electric vehicles is growing. Unlike vehicles powered by fossil fuels, electric vehicles consume electricity that can be generated from various renewable sources, and since electric vehicles have zero emissions, they can reduce dependence on fossil fuels and reduce greenhouse gas emissions into the atmosphere.

Keywords: electric vehicle (EM), wireless energy transmission (BPE), energy collectors, energy efficiency of the power system.

Введение

Опыт стран, лидирующих в использовании электромобилей, показывает, что ключевой опорой развития рынка электромобилей является государственная поддержка. Правительство, заинтересованное в росте парка электрических машин, прежде всего озабочено вопросами экологии — снижением выбросов оксидов углерода и азота, а также мелкодисперсных твердых частиц. Популяризация электромобилей — это одна из стратегий по улучшению экологической обстановки. Вопросу основных тенденций развития электротранспорта, посвящена данная статья.

Основная часть

Дефицит ископаемого топлива, а также экологическая обстановка, указывают на новые энергетические проблемы. Традиционная транспортная промышленность поглощает половину мировой добычи нефти, что приводит к массовым выбросам [1]. В совокупности эти проблемы влияют на автомобильную промышленность, а также подталкивают к исследованиям и разработке технологий электромобилей (ЭМ). Инте-

рес к электромобилям в последние годы превращается в стойкую тенденцию на фоне бурного развития технологий, и высокой степени уровня экологии таких машин.

Занимателен тот факт, что первый автомобиль в истории, появившийся в 1841 году, работал на аккумуляторах (прототип электромобиля) и лишь потом появились машины с двигателями внутреннего сгорания. Электромобили в начале развития автомобилестроения не являлись популярными, из-за трудностей технического характера — по причине сложной системы зарядки батарей [2]. Конструктивное отличие электромобилей от традиционных — это электрический тип двигателя, работающего на энергии подзаряжаемых аккумуляторными батареями. Электромобили могут потреблять энергию в том числе от солнечных панелей или топливных элементов, именно поэтому их конструкции включают в себя аккумуляторные батареи.

Факторы, влияющие на рост электротранспорта.

Рассмотрим основными факторы, влияющие на развитие электротранспорта в мире.

1. Сокращение мировых запасов традиционных углеводородов.

Следует отметить, что мировые аналитические структуры представляют разрозненные данные касательно общих запасов углеводородного сырья, поскольку учёт ресурсов может производиться на основании различных классификаций. Для наглядности возьмём за основу статистический обзор глобальной энергетики транснациональной компании British Petroleum (BP) за 2020 год. Согласно подсчётам BP, доказанные мировые запасы нефти оцениваются в 1,734 трлн баррелей или 244,6 млрд т. Абсолютным рекордсмена по запасам является Венесуэла: на территории страны залегает 303,8 млрд баррелей. Саудовская Аравия немного уступает Венесуэле — запасы королевства составляют 297,6 млрд баррелей. Третья по нефтяным запасам - Канада, обладающая 169,7 млрд баррелей. Россия, в распоряжении которой имеется 107,2 млрд баррелей, занимает 6-ое место — после Ирана и Ирака.

Последние расчёты показывают, что даже при нынешних объёмах уровня потребления 1,734 трлн баррелей нефти миру хватит всего на 53 года, а 196,8 трлн $м^3$ газа — примерно на 60 лет.

Запасов природного газа по прогнозам должно хватить ещё на 50 лет. Основными факторами риска в газовом сегменте, как считают в Счётной палате, являются рост затрат на добычу и транспортировку на внутренний и внешний рынки в связи с сокращением высокопродуктивных и неглубоко залегающих запасов. В Энергетической стратегии до 2035 года признают, что российская нефтегазовая отрасль уже сейчас переживает очень трудные времена. В нераспределённом фонде практически нет крупных разведанных месторождений углеводородов, мало участков с небольшими, но экономически эффективными для разработки запасами.

2. Снижение стоимости аккумуляторных батарей.

Преобладающее большинство электромобилей, выпускающихся серийно, оснащены аккумуляторами, которые подзаряжаются от стандартной электрической сети. Производители ЭМ достигли уровня себестоимости батареи в 200 долл/кВт·ч., при этом, высока вероятность дальнейшего снижения их себестоимости [3]. При сохранении тех же темпов роста производства аккумуляторных батарей к 2025 году их будет достаточно (более 1000 ГВт·ч) для производства 21 млн электромобилей в год, что составляет около четверти всего рынка легковых автомобилей. При этом, часть производимых батарей пойдёт для стационарных хранилищ электроэнергии и другого оборудования.

Плотность батарей, произведённых на заводе Tesla хранят 250 Вт·ч/кг, в ближайшее время планируется добиться 330 Вт·ч/кг, при этом уже заявлены достижения литий-ионными аккумуляторами плотности энергии в 1000 Вт·ч/кг.

3. Общемировые тенденции к распределённой электроэнергетике.

ЭМ могут рассматриваться, в качестве распределённого энергоресурса, так как, играют роль не только потребителей энергии, но и распределённых накопителей (технология vehicle-to-grid, дословный перевод: транспортное средство к сети), когда водитель электромобиля может вернуть излишки энергии в сеть и получить за это деньги. Системы накопления энергии незаменимы для повышения качества электроэнергии. По сравнению с традиционными методами накопления энергии, такими как супер конденсаторы, маховики и т. д., концепции «сеть-автомобиль» и «автомобиль-сеть» становятся все более популярными [2]. Они обеспечивают возможности по резервированию и управлению спросом, а также могут участвовать в новом подходе к электроэнергетике. Кроме того, они могут сгладить дневные и ночные максимумы и минимумы энергосистемы, например, при массовой ночной зарядке. Электромобили дают возможность ис-

пользовать методы «сеть-автомобиль» и «автомобиль в сеть» [2], и выступать в качестве оборудования для хранения энергии для эффективной буферизации возобновляемых источников. Взяв в качестве примера солнечную энергию, электромобили могут накапливать избыточную электроэнергию, вырабатываемую в светлое время суток, и возвращать ее в энергосистему в периоды высокой нагрузки; следовательно, он может стабилизировать прерывистость солнечной энергии. С появлением концепции интеллектуальной сети электромобили играют новую роль: обмен энергией с электросетью. Они способны не только получать энергию из электросети, но и возвращать её обратно в сеть через двунаправленное зарядное устройство [4]. Основываясь на возможностях зарядки/разрядки электромобилей и требованиях энергоэффективности энергосистемы, концепции «автомобиль-дом» и «автомобиль-сеть» в последние годы становятся все более и более привлекательными. В Крыму над этим вопросом активно работают сотрудники ООО «Сигма».

Рост продаж электромобилей в мире.

Наблюдаются значительные темпы роста мировых продаж электромобилей и подзаряжаемых гибридов. К примеру:

- ✓ в 2016 году количество электромобилей на дорогах по всему миру превысило 2 млн. шт.
- ✓ в 2017 было зарегистрировано 1,2 млн новых электромобилей, на 57% больше, чем в 2016. За 2017 г. китайские покупатели приобрели почти 800 тысяч электромобилей, а общее число экологически чистых машин уже превысило 1,5 миллиона. Причина такого стремительного роста заключается именно в государственном стимулировании продаж: правительство развивает сеть зарядных станций и субсидирует покупку электромобилей, обеспечивая им цену конкурентную на общем автомобильном рынке.
- ✓ в 2018 г. было продано в мире около 2 млн штук, из них электромобилей – около 1 млн штук, при этом традиционных автомобилей по миру было продано более 91 млн штук, что составляет 2%;
- ✓ в 2019 года был установлен абсолютный рекорд по численности электромобилей в мире. Число машин на электрической тяге достигло 7,9 тысяч штук. Лидером в 2019 остался Китай, где зарегистрировано 3,8 миллиона электромобилей. Это более чем в 2 раза превышает аналогичный показатель для США;
- ✓ в 2020 году объем продаж в Китае почти утроился, достигнув в общей сложности 3,3 миллиона электромобилей. Для сравнения, продажи в Европе выросли на 65% до 2,3 миллиона, а в США они увеличились более чем вдвое, достигнув 630 000;
- ✓ в 2021 Китай является крупнейшим рынком электромобилей в мире, на долю которого пришлось 53 процента мировых продаж.

Таким образом, примерно каждая десятая проданная машина являлась электрокаром. Лидерами является Европа и Китай, где на долю электромобилей приходится 11% и 19% от общего объёма продаж автомобилей соответственно. В США отгрузки электромобилей в 2022-м составили 807 180 единиц, что на 2,6% больше, чем в 2021 году. Доля электромобилей на американском рынке при этом равна 5,8%, что значительно ниже по сравнению с европейскими странами и КНР.

На сегодняшний день, наблюдается тенденция к росту производства электромобилей. Так, Volkswagen планирует завершить производство автомобилей с ДВС уже в 2030 году, в этом же году закончится эпоха бензиновых Bentley, первый люксовый электрокар появится только в 2025 году; Renault и Nissan полностью переходят на «зеленые» технологии в 2026 году. Porsche к 2025 году заявляет о половине всех выпущенных автомобилей с электродвигателем. Toyota, инвестировавшая более 13 млрд долларов на разработку нового типа аккумуляторов, планирует прекратить выпуск автомобилей на бензине и дизеле. Peugeot планирует выпускать только plugin-гибриды и full electro. Kia вкладывает 25 млрд долларов, чтобы к 2025 году выпустить 11 новых BEV-моделей, а к 2030 году захватить четверть мирового рынка ЭМ. Ford инвестирует 11,5 млрд долларов в электрификацию модельного ряда. BMW планирует к 2030 году выпуск ЭМ до 50%. [5]

По данным EV Volumes и Statista, странами, в которых продано больше всего ЭМ, стали Китай (1,27 млн), Германия (0,4 млн), США (0,3 млн), Франция и Великобритания (по 0,2 млн). Но в процентном разрезе, самой электрифицированной страной в мире, стала Норвегия (74,8%). Далее — Исландия (45%), Швеция (32,2%), Нидерланды (24,95%), а замыкает пятерку Финляндия (18,1%). Китайский рынок ЭМ транспортных средств составляет всего 6,2% от общего количества проданных автомобилей, а в Штатах и того меньше — 2,3% [6].

Ежегодно рост продаж в мире в 2014-2017

годах составлял более 40%, что позволяет говорить о том, что мировой рынок находится на этапе активного роста. При таком объеме доля российского рынка с объемом продаж в 95 электромобилей практически нулевая. На долю Китая приходится половина рынка (602 тыс. шт., +72%), на Евросоюз – четверть рынка (307 тыс., +38%), на США – 1/6 рынка (200 тыс., +27%) рис.1. Главный европейский рынок – это Норвегия, где в 2017 году реализовано почти 34 тыс. электромобилей, а парк составляет более 200 тыс. электрокаров, из них 140 тыс. приходится на электромобили и 60 тыс. – на подзаряжаемые гибриды. По числу электромобилей на душу населения Норвегия стабильно занимает первое место в мире [7].

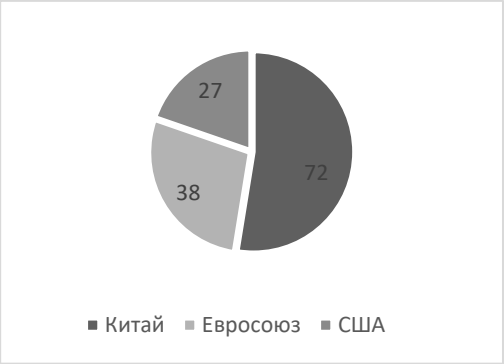


Рис.1. Диаграмма мировых продаж ЭМ по данным EVvolumes.com.

Согласно докладу, опубликованному Международным энергетическим агентством (МЭА), количество электромобилей на дорогах по всему миру растёт. По прогнозам агентства, количество электромобилей к 2025 году составит от 40 до 70 млн. При этом доля электромобилей в общем парке автомобилей в 2016 году составляла всего около 0,2%. Объемы реализации электромобилей выросли во всех регионах. В таблице 1, приведены статистические данные для европейских стран. Лидером остаётся Китай, где ЭМ было продано на 72% больше, чем годом ранее. КНР занимает половину мирового рынка с 602 000 проданных электрических машин. Самый высокий темп роста среди крупных рынков зафиксирован в Японии, здесь за год продажи увеличились на 149%.

Стоит отметить, что гибридные электромобили более популярны на мировых рынках среди всех электромобилей. В таблице 2 показано сравнение чистых электромобилей с типом батареи, запасом хода и временем для проводной и беспроводной зарядки соответственно.

Таблица 1. *Оборот электромобилей в Европе за 2020 год.*

Место	Страна	Процент электромобилей среди зарегистрированных авто (2020 год)
1	Нидерланды	22.91%
2	Норвегия	54.37%
3	Швеция	9.69%
4	Дания	7.19%
5	Португалия	5.42%
6	Германия	6.86%
7	Люксембург	5.61%
8	Франция	6.50%
9	Ирландия	4.49%
10	Австрия	5.47%
11	Финляндия	4.53%
12	Мальта	3.13%
13	Словения	3.19%
14	Латвия	2.47%
15	Хорватия	1.47%

Таблица 2. *Сравнительная характеристика батарей электромобилей.*

Модель	Батарея мощность / дальность действия	Время зарядки (часы, мощность)	Быстрое время зарядки	Время беспроводной зарядки
Пежо e-208	50 Втч / 211 миль	5 ч. (11 кВт)	за 30 минут до 80% (100 кВт)	
Мерседес EQC	80 Втч / 280 миль	12 ч. (7,4 кВт)	за 40 минут до 80% (100 кВт)	
Ауди e-tron	95 Втч / 248 миль	9 ч. (11 кВт)	за 30 минут до 80% (150 кВт)	
БМВ i3	42,2 Втч / 160 миль	4 ч. (11 кВт)	за 42 минут до 80% (50 кВт)	$U_{вх}$ = 240 В; I=30/50 А; P=11 кВт: зарядка 4-5 часов
Ситроен C-Zero	14,5 Втч / 93 миль	7 ч. (3,7 кВт)	за 30 минут до 80% (50 кВт)	
Хюндай Loniq Electric	28 Втч / 174 миль	4,5 ч. (7,4 кВт)	за 25 минут до 80% (50 кВт)	
Ягуар I-Pace	90 Втч / 292 миль	13 ч. (7,4 кВт)	за 45 минут до 80% (100 кВт)	
КИА e-Niro	64 Втч / 282 миль	10 ч. (7,2 кВт)	за 45 минут до 80% (60 кВт)	
Ниссан Leaf	40 Втч / 168 миль	7 ч. (6,6 кВт)	за 40 минут до 80% (50 кВт)	$U_{вх}$ = 240 В; I=30 А; P=7,2 кВт; зарядка 6 часов
Тесла, модель 3	75 Втч / 338 миль	5 ч. (11 кВт)	за 30 минут до 80% (120 кВт)	

Тесла, модель S	100 Втч / 393 миль	7 ч. (16,5 кВт)	за 40 минут до 80% (120 кВт)	$U_{вх}$ = 240 В; I=50 А; P=11 кВт; 20-25 миль в час при парковке

Технология беспроводной передачи энергии для электромобилей.

В технологии электромобилей есть несколько проблем, таких как короткий пробег и продолжительное время зарядки. Чтобы преодолеть эти недостатки, беспроводная передача энергии (БПЭ) становится альтернативным решением для зарядки ЭМ. Поскольку система БПЭ передает электрическую энергию от источника питания к нагрузке без применения проводов, она удобнее, надежнее и безопаснее, чем традиционные проводные зарядные устройства.

Преимущества БПЭ, как перспективной технологии, заключаются в меньшем физическом контакте, высоких характеристиках безопасности, которые могут быть применены для подачи питания на устройства в сложных условиях.

Технология сильно связанного магнитного резонанса была предложена исследовательской группой под руководством профессора Марина Солячича из Массачусетского технологического института в 2007 году, и с помощью этой технологии им удалось зажечь лампочку мощностью 60 Вт с эффективностью 40% на расстоянии более двух метров [3].

Сравнительно новая технология беспроводной зарядки – всего лишь одно из многочисленных направлений технологии беспроводной передачи электроэнергии. В последние годы вследствие насыщения рынка мобильными интеллектуальными гаджетами разного назначения производители и потребители обратили пристальное внимание на технологию беспроводной зарядки.

Оборудование беспроводной зарядки аккумуляторов относится к широкому классу устройств, известных под общим названием энергособиратели (Energy Harvesters). Сравнительно новое направление в электронике, актуальное для систем, при эксплуатации которых замена батарей осложнена или просто невозможна, но при этом требуется обеспечить их непрерывную работу в труднодоступном для потребителя или обслуживающего персонала месте. Энергособиратели предназначены для преобразования энергии разных источников, представленной в различных формах (механической, тепловой, оптической, электромагнитной и т.д.) в электрическую энергию. Сбор энергии, ее накопление и использование для питания электронных систем позволяет обеспечить более продолжительную работу, превышающую срок службы одноразовых элементов питания. Не исключается и возможность комбинирования различных источников энергии (тепловой, механической и других видов).

Беспроводную зарядку электромобилей можно разделить на стационарную и динамическую зарядку.

В системах динамической беспроводной зарядки электромобили могут непрерывно заряжаться во время движения, что может уменьшить размер батареи, увеличить дальность поездки и повысить удобство [2]. Метод беспроводной зарядки основан на принципах электромагнетизма. Ток проходит через катушку и тем самым создаёт между двумя точками магнитное поле, которое способствует беспрепятственной передаче электроэнергии без какого-либо физического соединения от источника питания к электромобилю, например, при помощи специального устройства-приемника, прикреплённого ко дну машины [4].

Для успешного внедрения новой технологии в электронику массового спроса новые устройства, предназначенные для замены существующих, должны иметь более привлекательные потребительские качества:

- устройства должны быть удобными в эксплуатации за счет отказа от «паутины» проводов питания или устранения необходимости замены батарей;
- устройства должны быть надежными, что обеспечивается исключением отказов электронных систем, вызванных использованием разъемных соединителей и проводов питания;
- устройства должны быть экологически чистыми благодаря отказу от применения одноразовых батарей;
- устройства должны быть безопасными, что достигается исключением проводов и разъемов, которые могут стать источниками искрообразования;
- устройства должны быть недорогими.

Кроме того, устройства, поддерживающие беспроводную передачу электроэнергии, должны обеспечивать работу в диапазоне мощности от менее 1 Вт (беспроводные датчики и маломощные электронные устройства) до более 3 кВт (промышленные системы и электрические транспортные средства) как в режиме непосред-

ственного использования (например, в светодиодных светильниках), так и в режиме накопления энергии в аккумуляторах интеллектуальных гаджетов, транспортных средств и т.д.

В 2009 году Корейский передовой институт науки и технологий в Южной Корее разработал динамическую беспроводную зарядку электромобилей. Реализовано расстояние передачи 17 см; максимальная выходная мощность составила 60 кВт при КПД 72%, что успешно продемонстрировало возможность динамической беспроводной передачи энергии на электромобили [6].

В 2012 году автопроизводители заявили, что планируют внедрить технологию беспроводной зарядки в будущие электромобили. В настоящее время беспроводная зарядка электромобилей уже существует, беспроводные зарядные устройства и сопутствующие адаптеры для некоторых подключаемых моделей несколько лет доступны по цене [8].

В 2013 году компания Nissan достигла 90% эффективности своей маломощной (1 кВт) динамической беспроводной системы зарядки на низкой скорости.

В 2014 году Plugless Power начала предлагать комплекты для Chevy Volt, Nissan LEAF и Cadillac ELR. С тех пор Plugless Power расширила свой модельный ряд для обслуживания BMW i3, Merceds S550e и Tesla Model S. Двумя самыми большими проблемами с беспроводными зарядными устройствами были их скорость и эффективность. Несколько компаний, производящих беспроводную зарядку, в ходе испытаний продемонстрировали скорость зарядки 20 кВт и выше. Прототипы беспроводной зарядки, разработанные для грузовиков и общественных автобусов, могут достигать мощности даже до 250 кВт. General Motors в настоящее время работает с WiTricity над разработкой системы беспроводной зарядки мощностью 7,7 кВт и 11 кВт.

С 2015 года Volvo в сотрудничестве со Шведской транспортной администрацией работает над системой динамической беспроводной зарядки для электробусов. Компания Qualcomm разработала и протестировала один из первых в мире испытательных полигонов для динамической беспроводной зарядки электромобилей. Система способна динамически заряжать электромобиль мощностью до 20 кВт при скорости движения по шоссе (100 км/ч). В Великобритании, после технико-экономического обоснования «Электромобилей на основных дорогах Англии», Highways England организовала восемнадцатимесячное испытание для бездорожья, чтобы помочь достичь своей конечной цели по содействию развертыванию электромобилей в Великобритании путем установки беспроводной связи. системы зарядки под дорогами [6]. Сравнение систем зарядки показано в таблице 3.

Таблица 3. *Сравнительная характеристика систем зарядки.*

Особенности	Питание без подключения к розетке	Qualcomm Halo	Witricity (Drive 11)
Технологии	Индуктивная зарядка	Резонансный магнитный индуктивный	Магнитно-резонансная
Нормальный зарядный промежуток	4 дюйма (10) см	Передача энергии через воздушный зазор	Низкий: 10-15 см, средний: 14-21 см, высокий: 17-25 см,
Стандарты	NEC 625 (NFPA 70), SAE J1772, UL 2231 и CSA 170.1	ISO, IEC и SAE	SAE TIR J2954, IEC и ISO
Скорости передачи мощности	Система поколения 1: 3,3 кВт - 7,2 кВт Система поколения 2: 7,2 кВт	3,3 кВт – 6,6 кВт	WPT1: 3,6 кВт, WPT2: 7.7 кВт, WPT3: 11 кВт,
Эффективность	мощность 3,3 кВт с зазором 10 см 88,8%	>90%	Delphi Automotive
Тест	Система поколения 1: Chery Volt Nissan LEAF Система поколения 2: Tesla Model S BMW i3	3,3 кВт – 6,6 кВт: Delta E-4 7 кВт, Rolls Royce Phantom 102EX 20 кВт: Drayson B12/69	Свобода парковки: X-Y-Z
Другие	Разгон на 20-25 миль в час.	Решения для передачи мощности были разработаны для широкого спектра типов транспортных средств	

Перспектива электромобилей.

Согласно исследованию, опубликованному аналитическим центром Carbon Tracker [7], возглавляемый Китаем переход к использованию электромобилей на развивающихся рынках может к 2030 году сократить ожидаемый рост мирового спроса на нефть на 70%. 2025 год является важным ориентиром: ожидается, что доля потребления не ископаемой энергии увеличится примерно на 20%, доля выработки электроэнер-

гии из не ископаемой энергии достигнет примерно 39%, а на долю электроэнергии, будет приходиться около 30% потребления энергии.

Китай планирует стать мировым лидером в стратегической индустрии электромобилей и воспользоваться значительными экономическими возможностями. Помимо того, что Китай является крупнейшим в мире экспортером электромобилей, на долю которого приходится 60% мирового производства, он также является крупнейшим производителем аккумуляторов для электромобилей.

Китайский производитель аккумуляторов CATL контролирует более 30% мирового рынка аккумуляторов для электромобилей. Государственные инвестиции влились в потребительскую инфраструктуру для электромобилей. Большинство пунктов зарядки в Китае расположены в развитых прибрежных районах. К 2025 году Китай значительно расширит свою зарядную инфраструктуру, чтобы удовлетворить потребности более 20 миллионов автомобилей. Главным преимуществом электромобилей является высокая экологичность, поскольку отсутствуют выхлопы, не используются нефтепродукты, антифризы, масла. По оценкам Bloomberg New Energy Finance (BNEF), занимающаяся исследованиями в области новых видов энергоресурсов, к 2040 году на мировом рынке будет около 530 млн. электромобилей, доля которых в мировом объеме продаж автомобилей составит 54%.

По сравнению с 2025 годом (прогноз Международного энергетического агентства) роста рынка за 2026-2040 годы увеличится более чем в 10 раз [7].

Выводы

Рост рынка автомобилей в России требует популяризации данного вида транспорта с привязкой к защите окружающей среды, для этого необходима совместная работа автопроизводителей и правительства в рамках государственных программ, которые на текущий момент реализуются.

Список литературы

1. Naoui Mohameda, Flah Aymena, Mohammed Alqarnib, Rania A.TurkycBasem, Alamrid Ziad, M. Alief Shady, H.E. Abdel Aleem// A new wireless charging system for electric vehicles using two receiver coils/ Ain Shams Engineering Journal Volume 13, Issue 2, March 2022, 101569.
2. Longzhao Sun, Dianguang Maa, Houjun Tanga A review of recent trends in wireless power transfer technology and its applications in electric vehicle wireless charging. Renewable and Sustainable Energy Reviews, volume 91, August 2018, Pages 490-503.
3. A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J. D. Joannopoulos, P. Fisher, and M. Soljacic, Science Express 317, 83 (2007).
4. https://russianelectronics.ru.
5. https://www.interfax.ru/business.
6. https://www.drom.ru/info.
7. https://cyberleninka.ru/article/n/prognoz
8. Gladwin, D, Mou, X, Zhao, R. A survey on magnetic resonant coupling wireless power transfer technology for electric vehicle charging. Power Electronics, 12 (12). pp. 3005-3020. ISSN 1755-4535.

References

1. Naoui Mohameda, Flah Aymena, Mohammed Alqarnib, Rania A.TurkycBasem, Alamrid Ziad, M. Alief Shady, H.E. Abdel Aleem// A new wireless charging system for electric vehicles using two receiver coils/ Ain Shams Engineering Journal Volume 13, Issue 2, March 2022, 101569.
2. Longzhao Sun, Dianguang Maa, Houjun Tanga A review of recent trends in wireless power transfer technology and its applications in electric vehicle wireless charging. Renewable and Sustainable Energy Reviews, volume 91, August 2018, Pages 490-503.
3. A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J. D. Joannopoulos, P. Fisher, and M. Soljacic, Science Express 317, 83 (2007).
4. https://russianelectronics.ru.
5. https://www.interfax.ru/business.
6. https://www.drom.ru/info.
7. https://cyberleninka.ru/article/n/prognoz
8. Gladwin, D, Mou, X, Zhao, R. A survey on magnetic resonant coupling wireless power transfer technology for electric vehicle charging. Power Electronics, 12 (12). pp. 3005-3020. ISSN 1755-4535.

УДК 551.583-697.94

Оценка изменения энергозатрат на отопление в Крыму за последние десятилетия

А.Х. Дегтерев
[1] *Севастопольский государственный университет, ул. Университетская 33, 299053, Севастополь, Россия, Ahdegtyarevl@sevsu.ru*

Статья поступила 06.02.2023 г.; после доработки 07.02.2023 г

Аннотация

Рассчитано изменение энергозатрат на отопление в Крыму в соответствии с новыми климатическими нормами, принятыми в 2022 г. Предполагалось, что системы отопления компенсируют тепловой поток через стену помещения при фиксированной комфортной температуре внутри помещения. Показано, что в отдельные месяцы отопительного периода расчетное энергопотребление за последние 30 лет уменьшилось на 16 – 23 %.

Ключевые слова: отопление, тепловой поток, энергопотребление, среднемесячные температуры, опорный период, отопительный период.

Estimation of changes in energy consumption for heat supply in Crimea in recent decades

A.Kh. Degterev
[1] *Sevastopol State University, 33 Universitetskaya str., 299053, Sevastopol, Russia, Ahdegtyarevl@sevsu.ru*

Received 06.02.2023 y.; received in final form 07.02.2023 y.

Abstract

Changes in energy consumption for heat supply in Crimea are calculated in accordance with climate norms of 2022. It is supposed that heating system compensates heat flow through the building wall at a fixed indoor temperature. It is shown that estimated energy consumption has decreased by 16-23 percent in some months of the heating period over the past 30 years.

Keywords: heating, heat flow, energy consumption, monthly temperatures, basic period, heating period.

Введение

Одним из последствий глобального потепления является уменьшение энергозатрат на отопление [1]. При этом наибольшие изменения температуры воздуха приходятся на последние десятилетия. Так, самыми теплыми годами в России были 2020 и 2022 года. По сравнению со средней за базовый период 1961–1990 гг. среднегодовая температура воздуха к 2014 г. увеличилась по земному шару на 0,9 °С, по северному полушарию – на 1,2 ℃, по странам СНГ – на 1,5 ℃, а в России – на 2,1 ℃ даже в Центральном Федеральном округе [2]. За последние 30 лет среднегодовая температура в Крыму повысилась на 1,5 ℃. Таким образом, по данным предыдущих исследований можно утверждать, что темпы изменения климата в России в 2-3 раза превышают средние по планете. В связи с этим фактом, а также с учетом значительных затрат на отопление в России по сравнению с другими странами оценка снижения энергозатрат является актуальной.

Темпы повышения температуры отличаются не только в разных регионах, но и в разные сезоны года. Это свидетельствует о необходимости анализа не только среднегодовых значе-

ний температуры воздуха по данным гидрометеостанций, но и среднемесячных и сезонных температур [3]. При этом в большинстве работ по анализу последствий изменения климата учитываются только среднегодовые значения.

Согласно соответствующим прогнозам, приведенным в последних двух оценочных докладах МГЭИК, в большинстве регионов в связи с глобальным потеплением будет больше аномально жарких периодов и меньше дней с сильными морозами. Но при этом вовсе не исключаются аномально низкие температуры. Отсюда прямо следует вывод о необходимости сохранения установочных мощностей систем отопления.

Следует отметить, что именно этот показатель (абсолютный минимум температуры) сильно отличается в разных регионах Крыма. Самые низкие температуры, отмеченные за все время наблюдений, составляют минус 36°С для Крыма в целом, для Севастополя – минус 24°С, для Ялты – только минус 18°С. Именно поэтому, например, в Ялте растут веерные пальмы, а в Севастополе – нет.

Постановка задачи

По регламенту Всемирной метеорологической организации климатические нормы оцениваются путем осреднения данных измерений за 30 лет. До недавнего времени таким опорным (базовым) периодом считался период с 1961 по 1990 г., однако в 2022 г. он официально заменен на 30-летие с 1991 г. по 2020 г. По данным Крымского управления гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [4] среднемесячные температуры воздуха в Крыму для этих двух периодов существенно отличаются (табл. 1). Для всех месяцев имеет место повышение температуры, причем летом оно достигает 2°С, а зимой – только 1°С.

Таблица 1. *Среднемесячные температуры (в °С) в Крыму для двух опорных периодов*

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1961-1990	0,2	0,8	3,6	9,7	15,0	19,4	21,9	21,3	17,0	11,2	6,9	3,1
1991-2020	1,2	1,6	4,9	10,0	15,7	20,6	23,4	23,3	18,1	12,4	7,1	3,2
Изменение	1,0	0,8	1,3	0,3	0,7	1,2	1,5	2,0	1,1	1,2	0,2	0,1

В ряде работ изменения среднемесячных температур находится путем оценки линейных трендов по методу наименьших квадратов. При этом изменение температур получается еще большим [5]. Согласно этим данным за последние 30 лет повышение температуры достигает 3°С сразу для шести месяцев: февраля, марта, июня, июля, августа и ноября.. Отличие от значений, приведенных в табл. 1, объясняется тем, что темпы потепления за последние 30 лет существенно увеличились. В то же время подход с двумя базисными периодами по сути равносилен оценки линейных трендов за время между серединами этих периодов, то есть с 1976 по 2006 годы.

Отопительный период в Крыму обычно продолжается пять месяцев, с начала ноября по конец марта. Таким образом для трех месяцев из пяти повышение температур составляет 3 градуса. Для всех летних месяцев, когда используется кондиционирование помещений, тоже имеет место повышение среднемесячных температур на 3°С.

Оценим энергозатраты на отопление, приравняв их тепловому потоку через наружные стены помещений.

Описание исследования

Плотность потока тепла через стену выражается через градиент температуры внутри стены:

$$F = - \lambda (dT/dx) , \quad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала стены дома. В установившемся режиме F = const, а это значит, что градиент температуры можно выразить через перепад температуры на стене дома:

$$dT/dx = (T_н – T_в)/L, \quad (2)$$

где $T_н$ – наружная температура воздуха, $T_в$ – температура в доме и L – толщина стены. Отсюда для плотности теплового потока получаем:

$$F = (T_в – T_н)\cdot\lambda/L, \quad (3)$$

Будем считать, что в течение одного зимнего месяца температура на улице не меняется и

она равна известной среднемесячной температуре $T_{мес}$. А в помещении за счет отопления поддерживается постоянная температура $T_в$. Тогда за месяц энергозатраты на отопление E, нормированные на единицу площади наружной стены дома, составят:

$$E = (T_в – T_{мес})\cdot\lambda\cdot\Delta t/L\ , \quad (4)$$

Их изменение из-за потепления определяется изменением среднемесячной температуры на $\Delta T_{мес}$. Возьмем дифференциалы где Δt – длительность данного месяца. Поэтому можно утверждать, что эти энергозатраты пропорциональны разности температур:

$$E = const\cdot(T_в – T_{мес})\Delta t\ . \quad (5)$$

от обеих частей выражения (5), и получим, что изменение энергозатрат составит:

$$\Delta E = –const\cdot\Delta t\cdot\Delta T_{мес}. \quad (6)$$

В константу входит толщина и площадь стен, их материал и другие неизвестные величины. Поэтому перейдем к оценке относительного изменения энергозатрат, константа при этом сокращается:

$$\Delta E/E = \Delta T_{мес}\ /(T_в – T_{мес})\ . \quad (7)$$

Выводы

Формула (7) позволяет получить практически значимые для энергетики результаты. Действительно, приравняв $\Delta T_{мес} = 3^oC$, $T_в = 20\ ^oC$ и взяв из табл. 1 прежнюю климатическую норму для среднемесячной температуры того или иного месяца, можно оценить относительное снижение энергозатрат на отопление для данного месяца. Так, для февраля $T_{мес} = 0{,}8^oC$, отсюда $\Delta E/E$ = 16%. Аналогично для марта получим $\Delta E/E$ = 18% а для ноября $\Delta E/E$ = 23%.

Предложенный подход позволяет также сравнить энергозатраты на отопление в разные месяцы. Из выражения (5) следует, что их отношение для i–го и j–го месяцев определяется соответствующими среднемесячными температурами $T_{мес}$ и продолжительностями месяцев $\Delta t_{мес}$:

$$E_i/E_j = (T_в – T_i)\Delta t_i\ /(T_в – T_j)\Delta t_j\ . \quad (8)$$

Например, отношение затрат на отопление в декабре и в ноябре согласно этой формуле и данным табл. 1 равно 1,35. В данном случае использовались значения среднемесячных температур T_i, соответствующие действующим на сегодняшний день климатическим нормам (табл. 1). На практике, конечно, лучше конец отопительного периода приходятся на 1 ноября и 31 марта соответственно. Полученные оценки приведены в табл. 2.

Таблица 2. *Расчетное энергопотребление (в условных единицах) в разные месяцы отопительного периода*

Месяц	1	2	3	11	12
Δt_i, сутки	31	28	31	30	31
T_i, , ^oC	1,2	1,6	4,9	7,1	3,2
$T_в – T_i$, , ^oC	18,8	18,4	15,1	12,9	16,8
E_i, у.е.	1,51	1,33	1,21	1	1,35

Они позволяют, в частности, прогнозировать необходимые запасы топлива для котельных и теплоэлектростанций на отопительный период.

Аналогичный подход может использоваться для оценки изменения энергозатрат на кондиционирование помещений в летние месяцы. В этом случае для всех трех месяцев $\Delta T_{мес}$ также равно 3^oC, в связи с чем энергопотребление увеличится. Однако перепад температур $T_в – T_i$, как видно из табл. 1, в летние месяцы значительно меньше, чем в отопительный период. Поэтому относительное изменение энергозатрат на кондиционирование $\Delta E/E$ за последние десятилетия будет существенно больше, чем для энергозатрат на отопдение. Например, для июля оно составит 157%, хотя в абсолютных единицах пока сравнительно невелико в условиях Крыма.

Список литературы

1. Дегтерев А.Х., Дегтерева Л.Н. Оценка изменения энергозатрат на теплоснабжение в связи с межгодовой изменчивостью температур на юге Украины // Метеорология и гидрология, 2008. – № 11. – С. 53–56.
2. Кокорин А.О. Изменение климата: обзор Пятого оценочного доклада МГЭИК. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2014. – 80 с.
3. Дегтерев А.Х., Дегтерева Л.Н. Оценка влияния сезонных изменений температуры на энергопотребление Украины в отопительный период // Метеорология и гидрология, 2002. – №12. – С.58 – 61.
4. URL:https:/meteo.crimea.ru/page_id=7898 (дата обращения: 4.01.2023).
5. Лемешко Н.А., Евстегнеев В.П., Наумова В.А. Изменение температуры воздуха в Азово-Черно-

морском бассейне на территории Крыма. – Вестник Санкт–Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. – 2014. Вып.4. – С.131 – 143.

References

1. Degterev A.Kh, Degtereva L.N. Estimation of changes in energy consumption for heat supply due to interannual temperature variability in the south of the Ukraine // Meteorology and Hydrology. – 2008. – No. 11. – P. 53–56.
2. Kokorin A.O. Climate change: review of IPCC Fifth assessment report. – Moscow: WEF, 2014. – 80 p.
3. Degterev A.Kh, Degtereva L.N. Estimation of temperature season changes effect in energy consumption of the Ukraine for heat supply // Meteorology and Hydrology. – 2002. – No. 12. – P. 58–61.
4. URL:https:/meteo.crimea.ru/page_id=7898 (application date: 4.01.2023).
5. Lemeshko N.A., Evstegneev V.P., Naumova V.A. Air temperature change in Crimea // Saint Petersburg University Vestnik. – Series 7. Geology. Geography, - 2014. V.4. – P. 131–143

ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

УДК 620.91

Возможность применения технологии беспроводной зарядки для аккумуляторных локомотивов в опасных средах

Е.А. Дубков[1], В.В. Колодяжный[2]
[1] *Севастопольский государственный университет, ул. Университетская 33, 299053, Севастополь, Россия, e-mail: EADubkov@mail.sevsu.ru ,: VVKolodyazhny@mail.sevsu.ru*

Статья поступила 06.02.2023 г.; после доработки 07.02.2023 г.

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы применения беспроводной зарядной станции для зарядки аккумуляторных локомотивов, работающих в опасных по газу и пыли горных выработках. Приводятся данные по классификации систем беспроводного заряда для электротранспорта. Анализируется влияние магнитной индукции в случае использования прямоугольной катушки, а также оценка возможности применимости технических решений в системе беспроводного заряда аккумуляторов.

Ключевые слова: беспроводная зарядная станция, магнитная индукция, среды опасные по взрыву газа и пыли.

The possibility of using wireless charging technology for battery locomotives in hazardous environments

E.A. Dubkov[1], V.V. Kolodyazhny[2]
[1] *Sevastopol State University, 33 Universitetskaya str., 299053, Sevastopol, Russia, e-mail: EADubkov@mail.sevsu.ru, VVKolodyazhny@mail.sevsu.ru*

Received 06.02.2023 y.; received in final form 07.02.2023 y.

Abstract

The article discusses the use of a wireless charging station for charging battery locomotives operating in mine workings dangerous for gas and dust. Data on the classification of wireless charging systems for electric vehicles are given. The influence of magnetic induction in the case of using a rectangular coil is analysed, as well as an assessment of the applicability of technical solutions for wireless battery charging systems.

Keywords: wireless charging station, magnetic induction, gas and dust explosion hazardous environments

Введение

В современном мире всё больше и больше происходит механизация различных процессов, в том числе и технологических. Чаще всего в качестве «помощника» используются устройства, потребляющие электроэнергию. Во-первых, остро встаёт вопрос о возможности подключения этих новых потребителей к существующим сетям электроснабжения. Во-вторых, как следствие, встаёт вопрос о развитии этих самых сетей. Казалось бы, можно использовать проводные устройства, которые постоянно подключены к сети и используют энергию в необходимом количестве, но тут же мы сталкиваемся с проблемой, ведь для этого требуется большое количество проводов. Если рассмотреть электрический технологический транспорт, который перемещается по установленным маршрутам, то это приведет к тому, что в какой-то момент времени произойдет просто механическое запутывание проводов и, как следствие, невозможность использования без

вмешательства человека. Кроме этого идет тенденция создавать не просто электрический транспорт, но и также сделать его максимально автоматизированным, чтобы он мог выполнять какие-то задачи технологических процессов без участия человека или же сводя их к минимуму.

Постановка задачи

Исследование возможности применения беспроводной зарядной станции на взрывоопасных объектах, по условиям газа и пыли.

Описание исследования

При таком подходе можно обратить внимание на использование и развитие аккумуляторного транспорта, который бы мог работать в режиме, когда он периодически лишь подключен к сети электроснабжения.

Можно остановиться на рассмотрении аккумуляторных локомотивов для горных предприятий, опасных по взрыву газа и пыли [1]. Одним из существенных недостатков аккумуляторных локомотивов, работающих в таких непростых условиях, является необходимость периодического вывода их из рабочего процесса для подзаряда батарей. Чаще всего для этого локомотив отгоняют в специализированное проветриваемое помещение, где обеспечивается должный уровень вентиляции, происходит смена разряженного аккумулятора на заряженный, тем самым разряженный ставится на заряд в этом помещении, а вновь установленный заряженный аккумулятор отрабатывает следующий цикл на электровозе установленное время. При этом, сам процесс подзаряда батарей относительно длительный и уменьшает полезное время его использования в механизации труда.

Одним из способов повышения эффективности производительности труда электровозной откатки тяги в горных выработках с повышенным содержанием газа и пыли является формирование такой инфраструктуры, которая позволяла бы заряжать тяговые аккумуляторных батареи непосредственно в самой выработке, во время погрузки и выгрузки, без транспортировки их в специализированные участки. Такой режим работы можно обеспечить с использованием активно развивающихся в последнее время зарядных станций, обеспечивающих беспроводную подзарядку аккумуляторных батарей.

Существует достаточно большое количество систем беспроводного заряда, который можно применить для шахтного электротранспорта. На рис. 1 представлена укрупненная классификация систем беспроводного заряда аккумуляторных батарей.



Рис 1. Классификация систем беспроводного заряда для электротранспорта.

Обзор систем беспроводного заряда, подробно рассмотренный в [4], показал, что в диапазоне мощностей, соответствующих аккумуляторным батареям шахтного электротранспорта (свыше 30 кВт), значение КПД превышает 90 % и имеет тенденцию роста при сокращении дальности беспроводной передачи энергии. При этом для систем средней и высокой мощности принципиальная разница в значении КПД для систем с разными техническими решениями отсутствует.

Из этого следует, что при выборе конкретных технических решений по использованию системы беспроводного заряда для шахтного электротранспорта следует опираться не столько на КПД, сколько на конструктивные ограничения, определяющие тепловыделение элементов системы беспроводного заряда, а также на параметры электромагнитного поля между передающей и приемной катушками. Оптимизация КПД для выбранного технического решения возможна и целесообразна. В случае же наличия ограничений на габариты и удельную мощность системы, могут быть применены приемы многофазного или многоканального исполнения.

При изучении возможности реализации сиземы беспроводной передачи энергии для аккумуляторных локомотивов в горных выработках опасных по взрыву газа и пыли возникает достаточно большое количество вопросов, связанных с безопасностью. Один из них – распределение индукции магнитного поля в окрестностях катушки.

Как правило, система беспроводной передачи энергии включает в себя две катушки – приемную и передающую. Приемная располагается непосредственно на электровозе, а передающая рядом с источником сети электроснабжения. Для более эффективной передачи энергии с большим КПД необходимо обеспечить небольшое расстояние между этими катушками, примерно 10-15 см. Но в момент передачи энергии будет происходить создание магнитного поля с достаточно большой индукцией, которая будет зависеть от мощности передачи. При рассмотрении катушек одинакового размера прямоугольного сечения распределение индукции магнитного поля будет выглядеть, как показано на рис. 2.

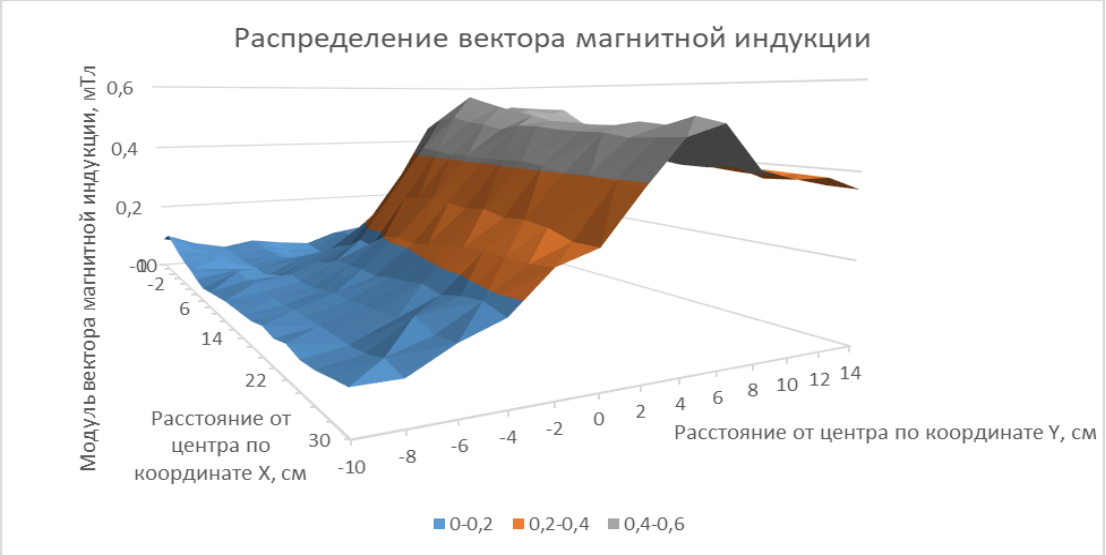


Рис 2. Величина модуля магнитной индукции относительно катушки.

Анализируя графики распределения линий магнитной индукции можно сделать вывод, что наибольшие величины индукции будут в районе проводника, причем измерения показали, что при выходе за пределы катушек в этой же плоскости величина модуля магнитной индукции существенно уменьшается, что позволяет сказать о минимальном влиянии на элементы, находящиеся за пределами плоскости катушек, но на достаточно близком расстоянии [3].

Безусловно, это не единственный фактор, который влияет на конечный результат. В [2] приводится обоснование критериев оценки технических решений систем беспроводного заряда для аккумуляторных батарей для рудничного электротранспорта. В итоге, для оценки применимости технических решений систем беспроводного заряда аккумуляторных батарей для рудничного электротранспорта руководствоваться следует температурой поверхности оборудования электровоза, обусловленной тепловыделением элементов системы беспроводного заряда, заключенных во взрывонепроницаемую оборочку, а также энергией электромагнитного

поля в области взаимодействия приемной и передающей катушек, величиной передаваемой мощности и КПД системы.

Данные критерии служат для фильтрации заведомо непригодных технических решений и для первичного ранжирования пригодных. Остальные критерии следует учитывать только в случае анализа технических решений, представляющих собой близкие альтернативы.

Заключение

В работе получены данные, которые говорят о возможности использования систем беспроводной зарядной станции для аккумуляторных локомотивов, используемых в горных откатках опасных по взрыву газа и пыли.

Список литературы

1. Завьялов В.М. Перспективы совершенствования аккумуляторных локомотивов для горных предприятий, опасных по взрыву газа и пыли / В.М. Завьялов, Е.А. Дубков // ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ, ПРОМЫШЛЕННАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ – 2021 сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. Севастополь, 2021. – С. 248-251.
2. Семыкина И.Ю. Обзор систем беспроводного заряда, применимых для шахтного электротранспорта / И.Ю. Семыкина, В.М. Завьялов, Е.А. Дубков, М.Б. Углова //// Перспективные технологии и материалы. Материалы Международной научно-практической конференции. Севастополь, 2022. С. 239-243.
3. Семыкина И.Ю. Анализ распределения индукции магнитного поля в окрестностях катушки прямоугольного профиля системы беспроводной передачи энергии / И.Ю. Семыкина, В.М. Завьялов, Е.А. Дубков, М.Б. Углова // Перспективные технологии и материалы. Материалы Международной научно-практической конференции. Севастополь, 2022. С. 235-238.
4. Семыкина И.Ю. Обоснование критериев оценки технических решений систем беспроводного заряда аккумуляторных батарей для рудничного электротранспорта / И.Ю. Семыкина, В.М. Завьялов, Е.А. Дубков // VIII Международная научно-практическая конференция Перспективы инновационного развития угольных регионов России. Прокопьевск, 2022. С. 88-93.

References

1. Zavyalov V.M. Prospects of perfection of battery locomotives for mining enterprises dangerous for gas and dust explosion / V.M. Zavyalov, E.A. Dubkov // ECOLOGICAL, INDUSTRIAL AND ENERGY SECURITY – 2021 collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference. Sevastopol, 2021. – pp. 248-251.
2. Semykina I.Yu. Overview of wireless charging systems applicable for mine electric transport / I.Yu. Semykina, V.M. Zavyalov, E.A. Dubkov, M.B. Uglova //// Promising technologies and materials. Materials of the International Scientific and Practical Conference. Sevastopol, 2022. pp. 239-243.
3. Semykina I.Yu. Analysis of the magnetic field induction distribution in the vicinity of a rectangular profile of a wireless energy transmission system / I.Yu. Semykina, V.M. Zavyalov, E.A. Dubkov, M.B. Uglov // Promising technologies and materials. Materials of the International Scientific and Practical Conference. Sevastopol, 2022. pp. 235-238.
4. Semykina I.Yu. Substantiation of evaluation criteria for technical solutions of systems of water-free battery charging for mine electric transport / I.Yu. Semykina, V.M. Zavyalov, E.A. Dubkov // VIII International scientific and practical conference Prospects of innovative development of coal regions of Russia. Prokopyevsk, 2022. pp. 88-93.

УДК 621.317.32.027.3

Система гальванически связанных тел как способ измерения высокого напряжения

В.М. Завьялов[1], Н.Н. Смокталь[2], А.С. Велиляев[3]
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33, г. Севастополь, 299053, Россия.
[1]vmzavyalov@mail.sevsu.ru, [2]niccos.sm@gmail.com, [3]asvelilyaev@sevsu.ru

Статья поступила 27.02.2023 г.; после доработки 28.02.2023 г.

Аннотация

Измерение высокого напряжения в линиях электропередач является важной задачей в вопросах обеспечения надежности работы энергосистемы в нормальных и аварийных режимах. Анализ существующих устройств и систем измерения высокого напряжения показывает необходимость их усовершенствования, а также разработки новых устройств, обеспечивающих требуемый уровень интеграции в системах релейной защиты и автоматики. В статье описывается перспективное направление развития систем измерения высокого напряжения, а именно применение датчиков электрического поля, работающих по принципу гальванической связи измерительных контуров. Приводятся результаты экспериментальных исследований измерительной системы на базе системы гальванически связанных контуров, подтверждающие гипотезу о возможности применения данной системы.

Ключевые слова: измерение напряжения, система гальванически связанных тел, высокое напряжение, измерительное сопротивление, коэффициент передачи по напряжению.

Galvanically coupled bodies system as a measurement method of high voltage

V.M. Zavyalov[1], N.N. Smoktal[2], A.S. Velilyaev[3]
Sevastopol State University, Universitetskaya st. 33, Sevastopol, 299053, Russia.
[1]vmzavyalov@mail.sevsu.ru, [2]niccos.sm@gmail.com, [3]asvelilyaev@sevsu.ru

Received 27.02.2023 г.; received in final form 28.02.2023 г.

Abstract

Measurement of high voltage in power lines is an important task in ensuring the reliability of the power system in normal and emergency modes. An analysis of existing devices and systems for measuring high voltage shows the need for their improvement, as well as the development of new devices that provide the required level of integration in relay protection and automation systems. The article describes a promising direction in the development of high voltage measurement systems, namely the use of electric field sensors operating on the principle of galvanic coupling of measuring circuits. The results of experimental studies of a measuring system based on a system of galvanically coupled circuits are presented, confirming the hypothesis about the possibility of using this system.

Keywords: voltage measurement, galvanically coupled bodies system, high voltage, measuring resistance, voltage transfer coefficient.

Введение

В силу большой стоимости современных оптических трансформаторов напряжения, на сегодняшний день измерение напряжения в высоковольтных сетях осуществляется преимущественно при помощи громоздких трансформаторов напряжения, либо емкостных делителей напряжения.

Данные устройства имеют ряд недостатков,

к которым относятся как эксплуатационные, такие как сложности в монтаже и ремонте, так и метрологические, к которым можно отнести малый частотный диапазон, а именно явление насыщения сердечника трансформатора напряжения, что приводит к недостаточной точности измерений и, как следствие, некорректной работе РЗиА. Указанные недостатки эксплуатируемых систем ставят задачу разработки принципиально новой системы измерения напряжения.

Перспективным направлением в части измерительных устройств высокого напряжения являются датчики электрического поля, принцип работы которых основан на гальванической связи измерительных контуров.

В работе приводятся экспериментальные исследования измерительной системы на базе системы гальванически связанных контуров, проведена экстраполяция полученных замеров для напряжений 6-35 кВ.

Постановка задачи

На текущий момент существует проблема недостаточной степени интеграции устройств измерения напряжения в системах измерения высокого напряжения промышленной частоты, что ставит задачу разработки и усовершенствования данных устройств.

В качестве решения данной задачи была выдвинута гипотеза о возможности применения нового способа измерения электрического потенциала на поверхности проводника, подключенного к источнику переменного напряжения. Принцип работы предлагаемой системы основан на использовании системы гальванически связанных тел.

Были проведены предварительные экспериментальные исследования на низких напряжениях, подтвердившие достоверность работы разрабатываемой системы. Поставлена задача исследования возможности применения системы для измерения высоких напряжений в электрических сетях высокого напряжения.

Описание экспериментальной установки

Основой системы гальванически связанных тел являются две медные трубы с внешними диаметрами 35 мм. и 25 мм., толщина труб – 1 мм., длина труб – 333 мм. Труба с меньшим диаметром расположена внутри трубы с большим диаметром. На торцах труб сделаны выводы для подключения измерительного резистора, в качестве которого выступает активное сопротивление переменной величины (10 кОм – 300 кОм).

Общий вид исследуемой системы гальванически связанных тел показан на рис. 1.

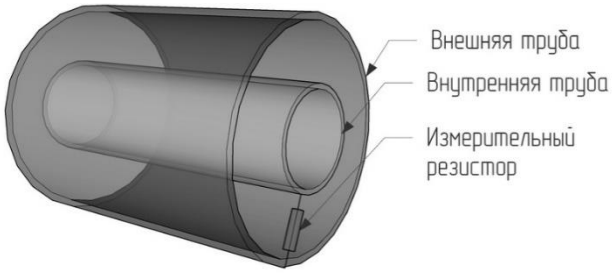


Рис. 1. Система гальванически связанных тел.

На внутреннюю трубу подается переменное напряжение промышленной частоты, действующее значение которого регулируется от 25 до 150 В.

Между трубами подключен резистор (активное сопротивление), величину которого также можно менять в заданных пределах. Схема лабораторной установки для исследования системы гальванически связанных тел показана на рис. 2.

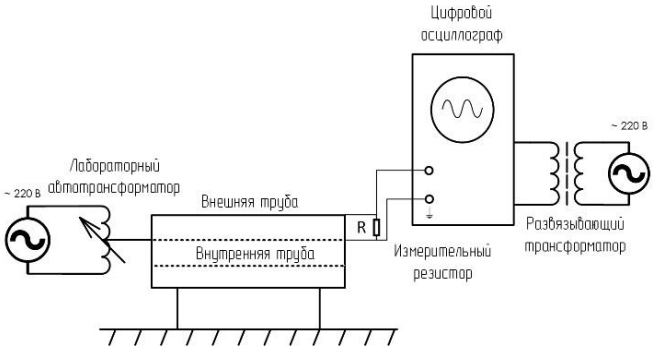


Рис. 2. Схема лабораторной установки.

При подведении электрического потенциала к внутренней трубе вокруг нее создается переменное электрическое поле. Так как поверхность внешней трубы расположена вокруг поверхности внутренней, линии электрического поля пересекают поверхность внешней трубы, и согласно принципу равномерного распределения зарядов по поверхности проводника, потенциал внешней трубы стремится достичь значений потенциала внутренней трубы. Средством перетока потенциала с внутренней на внешнюю трубу является подключенное между трубами активное сопротивление. Меняя величину этого

сопротивления, становится возможным изменять скорость перетока зарядов между трубами. При протекании тока по активному сопротивлению на нем возникает падение напряжения, значение которого регистрируется измерительным прибором.

Эксперимент проводился на лабораторной установке, показанной на рис. 2 для длины трубы 333 мм, различных величин измерительных сопротивлений и действующего значения значение переменного напряжения, подаваемого на внутреннюю трубу равного 150 В. Полученные зависимости сведены в таблицу 1.

Таблица 1. *Результаты замеров падения напряжения на измерительном резисторе.*

Напряжение на внутренней трубе, В	25	50	75	100	125	150
$R_{\text{изм.рез.}} = 300\,\text{кОм}$						
Падение напряжения на измерительном сопротивлении, мВ	5,93	16,4	26,3	37,1	47,7	57,8
$R_{\text{изм.рез.}} = 220\,\text{кОм}$						
Падение напряжения на измерительном сопротивлении, мВ	4,59	12,7	20,7	28,6	36,9	44,6
$R_{\text{изм.рез.}} = 100\,\text{кОм}$						
Падение напряжения на измерительном сопротивлении, мВ	2,27	6,3	10	14,1	18,2	22,1
$R_{\text{изм.рез.}} = 68\,\text{кОм}$						
Падение напряжения на измерительном сопротивлении, мВ	1,552	4,48	7,28	10,1	13	15,9
$R_{\text{изм.рез.}} = 51\,\text{кОм}$						
Падение напряжения на измерительном сопротивлении, мВ	1,23	3,36	5,5	7,64	9,84	12
$R_{\text{изм.рез.}} = 20\,\text{кОм}$						
Падение напряжения на измерительном сопротивлении, мВ	0,499	1,36	2,23	3,11	3,99	4,8
$R_{\text{изм.рез.}} = 10\,\text{кОм}$						
Падение напряжения на измерительном сопротивлении, мВ	0,271	0,67	1,13	1,5	2	2,4

На рис. 3 показан график зависимости падения напряжения на измерительном сопротивлении от приложенного к внутренней трубе переменного напряжения. Значения измерительных сопротивлений изменялись в пределах 10 кОм÷300 кОм.

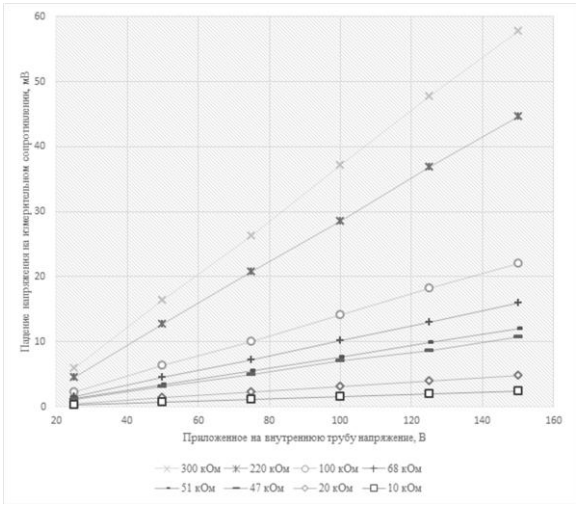


Рис. 3. График зависимости падения напряжения на измерительном сопротивлении от приложенного напряжения.

Проведена аппроксимация полученных данных, из которой можно сделать вывод, что зависимость падения напряжения на измерительном резисторе при разных величинах приложенного напряжения имеет линейный характер.

Из полученных экспериментальных данных можно сделать вывод, что зависимость падения напряжения на измерительном сопротивлении от приложенного напряжения имеет линейный характер и увеличивается с ростом приложенного к внутренней трубе напряжения, а также с ростом величины сопротивления измерительного резистора.

Зависимость падения напряжения на измерительном сопротивлении от сопротивления измерительного резистора, показана в таблице 2. Подаваемое на внутреннюю трубу напряжение равнялось 150 В.

Таблица 2. *Результаты замеров падения напряжения на измерительном резисторе при напряжении внутренней трубы равном 150 В.*

Сопротивление измерительного резистора, кОм	10	20	47	51	68
Падение напряжения на измерительном резисторе, мВ	2,42	4,82	10,7	12,0	15,92

Окончание Таблицы 2

Сопротивление измерительного резистора, кОм,	100	220	300
Падение напряжения на измерительном резисторе, мВ,	22,1	44,6	57,8

На рис. 4 показан график зависимости падения напряжения на измерительном сопротивлении от сопротивления измерительного резистора.

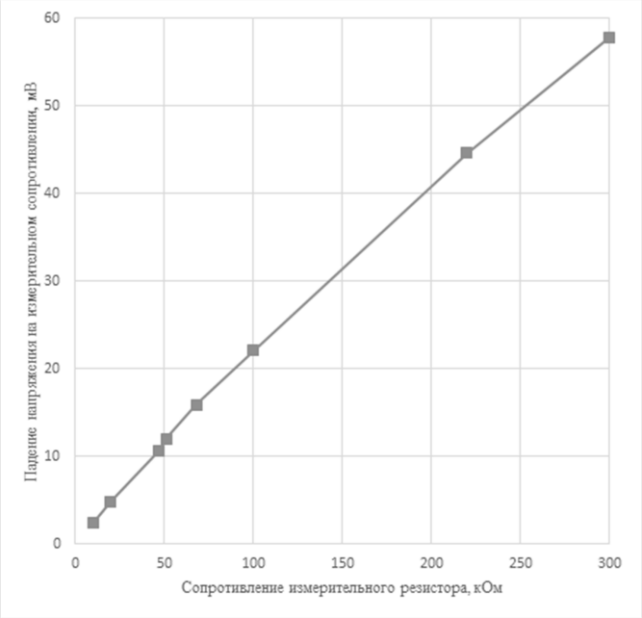


Рис. 4. Зависимость падения напряжения на измерительном сопротивлении от сопротивления измерительного резистора.

В ходе измерений была выявлена нелинейность значений падения напряжения при значениях измерительного сопротивления выше 300 кОм. Данная нелинейность обусловлена особенностью примененной измерительной системы. Внутреннее сопротивление измерительной системы, в которую входит цифровой осциллограф, составляет порядка 1 МОм, соответственно при приближении значений измерительного резистора к значениям внутреннего сопротивления осциллографа возникает погрешность измерений, вызванная соразмерностью сопротивлений измеряемой цепи и измерительного прибора.

Исходя из этого, примем рабочий диапазон измерительных сопротивлений от 10 кОм до 300 кОм.

Рассчитаем коэффициенты усиления по напряжению предложенной системы измерения напряжения. Коэффициент усиления по напряжению $k_{\text{у}}$ определяется как отношение выходной величины системы к входной величине:

$$k_{\text{у}} = \frac{U_{\text{изм.рез.}}}{U_{\text{внутр.трубы}}}, \quad (1)$$

где: $U_{\text{внутр.трубы}}$ – приложенное напряжение к внутренней трубе (входная величина); $U_{\text{изм.рез.}}$ – падение напряжения на измерительном сопротивлении (выходная величина).

При изменении сопротивлений и приложенного напряжения коэффициент усиления растет пропорционально увеличению сопротивления и приложенного напряжения.

Значения коэффициентов усиления по напряжению для различных значений измерительного сопротивления показаны в таблице 3.

Таблица 3. *Значения коэффициентов усиления по напряжению*

Сопротивление измерительного резистора, кОм	10	20	47	51
Коэффициент усиления по напряжению, $\times 10^{-5}$	1,61	3,21	7,13	8,0
Сопротивление измерительного резистора, кОм	68	100	220	330
Коэффициент усиления по напряжению, $\times 10^{-5}$	10,61	14,73	29,73	38,53

По данным таблицы 3 был построен график зависимости коэффициентов усиления по напряжению, показанный на рисунке 5.

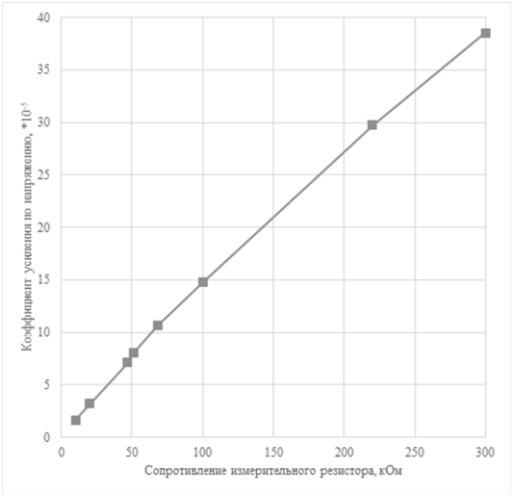


Рис. 5. График зависимости коэффициентов усиления от величины измерительного сопротивления

Следующей задачей исследования являлось определение возможности использования данной системы для измерения высокого напряжения промышленной частоты. Так как натурные испытания на напряжениях 6-35 кВ пока не проводились, имея данные коэффициентов усиления по напряжению системы на напряжениях до 150 В, проведем экстраполяцию полученных результатов замеров на более высокие напряжения (6-35 кВ).

В качестве примера рассчитаем, какое значение сопротивления необходимо применить для измерения напряжения 6 кВ, если снимаемый с выхода сигнал должен находиться в диапазоне ±1,5 В.

Требуемое значение коэффициента усиления для измеряемого напряжения 6 кВ равно:

$$k_{у(6)} = \frac{U_{вых}}{U_{вх} \cdot \sqrt{2} \cdot k_{зап}} = \frac{1{,}5}{6000 \cdot \sqrt{2} \cdot 1{,}2} = 0{,}000147$$

где $k_{зап}$ – коэффициент запаса, учитывающий возможные перенапряжения в измеряемой сети.

Так как зависимость коэффициента усиления от величины измерительного сопротивления имеет линейный характер, введём понятие коэффициента пропорциональности $k = 0{,}026$.

Зная искомое значение коэффициента усиления и значение коэффициента пропорциональности, находим требуемое значение измерительного сопротивления:

$$R_{изм.рез.(6)} = \frac{k}{k_у} \qquad (2)$$

Для коэффициента усиления системы $k_{у(6)} = 0{,}000147$ искомое значение измерительного сопротивления равно $R_{изм.рез.(6)} = 177\,Ом$.

Для напряжения 35 кВ, требуемое значение измерительного сопротивления будет соответственно равно $R_{изм.рез.(35)} = 1030\,Ом$.

Таким образом, зная входные параметры измеряемой цепи и требуемые выходные параметры для дальнейшего преобразования, становится возможным произвести расчет параметров измерительной системы.

Выводы

1. Проведенные исследования подтверждают возможность применения предлагаемой измерительной системы для измерения высоких напряжений промышленной частоты.
2. Зависимость падения напряжения на измерительном сопротивлении имеет линейный характер от напряжения и увеличивается с ростом приложенного к внутренней трубе напряжения, а также с ростом величины сопротивления измерительного резистора
3. Полученное значение коэффициента передачи по напряжению при изменении величины измерительного сопротивления имеет линейный характер.

Проведенные эксперименты подтверждают гипотезу о возможности получения информации об электрическом потенциале на проводнике, подключенном к источнику переменного напряжения.

Задача требует дальнейших исследований, таких как построение математических моделей системы гальванически связанных тел.

Список литературы

1. Wetula, A.; Bien, A.; Parekh, M. New Sensor for Medium and High-Voltage Measurement: Energies, 14, 4654, 2021.
2. Qiang Zhou, Wei He, Songnong Li and Xingzhe Hou. Research and Experiments on a Unipolar Capacitive Voltage Sensor. Sensors 2015, 15, 20678-20697
3. Смокталь Н. Н. Эволюция средств измерения в электроэнергетических системах / Н. Н. Смокталь // Электроэнергетика: Семнадцатая всероссийская (девятая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: материалы конференции. В 6-ти томах, Иваново, 11–13 мая 2022 года. – г. Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2022. – С. 98.

References

1. Wetula, A.; Bien, A.; Parekh, M. New Sensor for Medium and High-Voltage Measurement: Energies, 14, 4654, 2021.
2. Qiang Zhou, Wei He, Songnong Li and Xingzhe Hou. Research and Experiments on a Unipolar Capacitive Voltage Sensor. Sensors 2015, 15, 20678-20697
3. Smoktal, N. N. Evolution of measuring instruments in electric power systems / N. N. Smoktal // Power industry: Seventeenth All-Russian (ninth international) scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists: materials of the conference. In 6 volumes, Ivanovo, May 11–13, 2022. - Ivanovo: Ivanovo State Energy University named after. IN AND. Lenina, 2022. - S. 98.

УДК 620.92

Анализ эксплуатационных режимов систем электроснабжения с распределенной генерацией и потреблением

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

Статья поступила 20.02.2023 г.; после доработки 21.02.2023 г.

Аннотация

Представлена возможность численного моделирования системы распределенного асинхронного электропривода, состоящего из асинхронных двигателей, получающих питание от удаленных источников через кабели. Построена математическая модель системы электропривода, состоящей из синхронных генераторов, трансформатора, асинхронных электродвигателей и статической нагрузки. Показано, что для повышения точности расчетов кабели целесообразно представлять линиями с распределенными по длине параметрами. Описан алгоритм составления уравнений модели, приведены примеры расчета типичных режимов.

Ключевые слова: синхронный генератор, асинхронный электродвигатель, трансформатор, распределенный электропривод, кабельная линия, математическое моделирование, напряжение, ток, нагрузка, процесс пуска.

Analysis of the operating modes systems of electric supply with the up-diffused generation and consumptionc

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

The article acted 20.02.2023 y.; after a revision 21.02.2023 y.

Abstract

Possibility of numeral design of the system of the up-diffused asynchronous electromechanic, consisting of asynchronous engines, recipient a feed from remote through cables is presented. The mathematical model of the system of electromechanic, consisting of remote synchronous generator, transformer, asynchronous electric motors and static loading is built. It is showed that for the increase of exactness of calculations it is expedient to present cables lines with the parameters up-diffused on length. The algorithm of drafting of equalizations of model, examples of calculation of the typical modes, is described..

Keywords: synchronous generator, asynchronous electric motor, transformer, up-diffused electromechanic, cable bus, mathematical design, tension, current, loading, starting process.

Введение

На современных крупных транспортных, горных, портовых предприятиях, судах электроэнергетические системы представляют сложные распределенные совокупности генераторов, трансформаторов и электроприводов, объединенных кабельными сетями. То же относится к шахтным электроэнергетическим системам большой протяженности, оффшорным ветро и волновым электростанциям. Тенденция роста мощностей используемых агрегатов и наличия

длинных кабельных линий приводит к необходимости учета влияния изменений режима одного из устройств на состояние остальных и системы в целом [1, 2]. Расчет подобных систем выполняется с использованием математических моделей электрических машин, связанных кабелями, в которых учитываются эквивалентные сопротивления и индуктивности жил кабелей [3]. Задачам анализа поведения подобных систем в эксплуатационных режимах (пуск, наброс нагрузки, короткие замыкания, коммутации) посвящены многие работы, например, [1 – 9].

В работах Ещина Е.К. [1, 2] исследовано управление группой двигателей, соединенных кабелями с учетом емкостей кабелей. В [4 – 9] выполнен анализ режимов двухдвигательных электроприводов при изменении частоты напряжения с помощью преобразователей частоты. Исследования выполняются методом имитационного моделирования в среде *MatLab*.

К настоящему времени актуальной является задача расчета электроэнергетической системы электроприводов с учетом длин и всех параметров кабелей, рассматриваемых как цепи с распределенными параметрами [6 – 9].

Целью настоящей статьи является построение методики расчета и анализ основных эксплуатационных режимов распределенных электроэнергетических систем, содержащих синхронные генераторы, трансформаторы, асинхронные двигатели, длинные кабельные линии при пусках, включениях и отключениях нагрузок коротких замыканиях, разрывах.

Для достижения этой цели построена математическая модель системы распределенного электропривода, и выполнен анализ характерных эксплуатационных режимов при различных коммутациях и взаимном влиянии агрегатов системы.

Описание основных элементов распределенной системы электроснабжения

Уравнения электрической динамики синхронного генератора, ротор которого вращается с угловой скоростью ω без учета демпфирующих контуров в ортогональной вращающейся системе координат имеют вид

$$\left.\begin{aligned} U_{sd} &= -r_s I_{sd} + \omega L_{sq} I_{sq}; \\ U_{sq} &= -r_s I_{sq} - \omega L_{sd} I_{sd} - \omega M_f I_f, \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

где r_s, L_s – сопротивление и индуктивность фазы обмотки статора; $U_{sd}, U_{sq}, I_{sd}, I_{sq}$ – составляющие напряжений и токов обмотки статора; M_f – коэффициент взаимной индукции; I_f – ток возбуждения.

Ограничимся рассмотрением синхронного неявнополюсного генератора при $L_{sq} = L_{sd} = L_s$. Трактуя вещественные составляющие напряжения и тока статора как продольные проекции векторов, а мнимые составляющие – как поперечные проекции, и домножая второе уравнение в (1) на мнимую единицу, объединим эти уравнения в одно комплексное уравнение

$$\dot{U}_s + (r_s + j\omega L_s)\dot{I}_s = -j\omega M_f I_f. \qquad (2)$$

здесь $r_{s\,k} + j\omega L_{s\,k} = Z_k$ – комплексное сопротивление обмотки статора; k – номер генератора в системе.

Комплексные уравнения на фазу понижающего трансформатора с обмотками w_1, w_2 представляются следующим образом

$$\left.\begin{aligned} \dot{U}_{t1} &= (r_{t1} + j\omega L_{t1})\dot{I}_{t1} - j\omega M_{t12}\dot{I}_{t2}; \\ -\dot{U}_{t2} &= (r_{t2} + j\omega L_{t2})\dot{I}_{t2} - j\omega M_{t21}\dot{I}_{t1} \end{aligned}\right\}, \qquad (3)$$

Коэффициент трансформации полагаем $n = \dfrac{w_1}{w_2} > 1$, тогда $L_{t2} = \dfrac{L_{t1}}{n^2}$ и $M_{t21} = M_{t12} = \dfrac{L_{t1}}{n}$ – коэффициент взаимной индукции. Комплексные сопротивления обмоток трансформатора $Z_{t1} = r_{t1} + j\omega L_{t1}$, $Z_{t2} = r_{t2} + j\omega L_{t2}$.

Принятая однолинейная схема трансформатора изображена на рис.1.

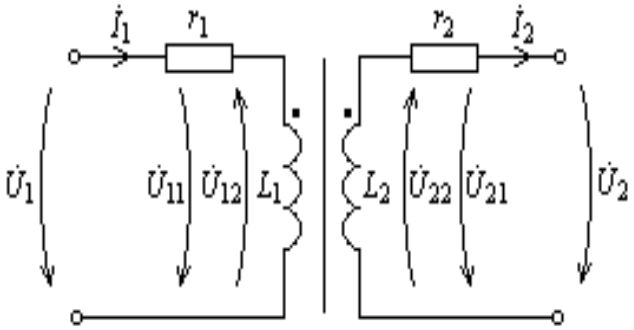


Рис.1. Трехфазный понижающий трансформатор

Уравнения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в ортогональной системе

координат dq с опережающим вращением поперечной оси имеют вид [10]

$$\left.\begin{aligned} U_{cd} &= -\omega(L_c i_{pq} + L_{ad} i_{pq}) + r_c i_{cd};\\ U_{cq} &= \omega(L_c i_{cd} + L_{ad} i_{pd}) + r_c i_{cq};\\ 0 &= -(\omega - p\Omega)(L_p i_{pq} + L_{ad} i_{cq}) + r_p i_{pd};\\ 0 &= (\omega - p\Omega)(L_p i_{pd} + L_{ad} i_{cd}) + r_p i_{pq} \end{aligned}\right\}. \quad (4)$$

В этих уравнениях ω – частота напряжения статора; Ω – угловая скорость вращения ротора; p – число пар полюсов; r_c, r_p, L_c, L_p – сопротивления и индуктивности статора и ротора; L_{ad} – взаимная индуктивность. Полагаем, что вещественные части токов и напряжений статора и ротора являются проекциями соответствующих векторов на продольную координатную ось d, а мнимые части – на поперечную ось q

$$\dot{U}_c = U_{cd} + jU_{cq}; \qquad \dot{I}_c = i_{cd} + ji_{cq};$$

$\dot{I}_p = i_{pd} + ji_{pq}$ и что в двигателе с короткозамкнутым ротором $U_{cq} = 0$. Система уравнений (4) преобразуется теперь в два комплексных алгебраических уравнения, так как механическая инерция асинхронного двигателя существенно преобладает над электромагнитной

$$\left.\begin{aligned} \dot{U}_c &= (r_c + j\omega L_c)\dot{I}_c + j\omega L_{ad}\dot{I}_p;\\ 0 &= (r_p + j(\omega - p\Omega)L_p)\dot{I}_p + j(\omega - p\Omega)L_{ad}\dot{I}_c. \end{aligned}\right\}$$

Отсюда получаем выражение для тока статора

$$\dot{I}_c = \frac{\dot{U}_c}{r_c + j\omega L_c + \dfrac{\omega L_{ad}^2(\omega - p\Omega)}{r_p + j(\omega - p\Omega)L_p}} \quad (5)$$

и тока ротора

$$\dot{I}_p = \frac{-j\dot{I}_c \cdot (\omega - p\Omega)L_{ad}}{r_p + j(\omega - p\Omega)L_p}.$$

Знаменатель выражения (5) представляет входное сопротивление асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

$$\underline{Z}_{AD} = r_c + j\omega_k L_c + \frac{\omega_k L_{ad}^2(\omega_k - p\Omega)}{r_p + j(\omega_k - p\Omega)L_p}, \quad (6)$$

зависящее от скорости его вращения Ω.

Уравнение механической динамики ротора имеет вид баланса моментов

$$J\frac{d\Omega}{dt} + k_{TP}\Omega + M_H(\Omega) = M_{ЭМ}, \quad (7)$$

здесь k_{TP} – коэффициент трения; $M_H(\Omega)$ – момент сопротивления нагрузки; электромагнитный момент $M_{ЭМ} = L_{ad}(i_{cq}i_{pd} - i_{cd}i_{pq})$.

Кабельные линии, соединяющие элементы системы, представляют собой электрические цепи с распределенными параметрами [11]. На рис.2 показана однолинейная схема замещения участка кабеля длиной dx, где обозначены r_0, L_0, g_0, C_0 – удельные сопротивление, индуктивность, проводимость и емкость на единицу длины.

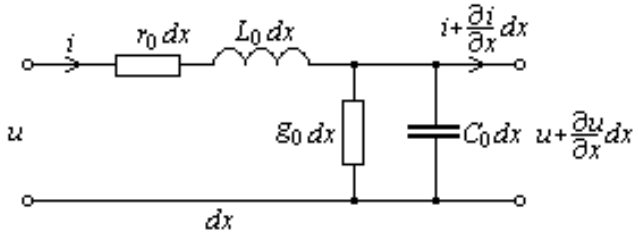


Рис.2. Схема замещения участка кабельной линии

Выражения напряжения и тока на фазу линии имеют вид

$$\left.\begin{aligned} \dot{U}(x) &= \underline{A}_1 e^{-\gamma x} + \underline{A}_2 e^{\gamma x};\\ \dot{I}(x) &= \frac{\underline{A}_1 e^{-\gamma x} - \underline{A}_2 e^{\gamma x}}{\underline{z}_B}, \end{aligned}\right\} \quad (8)$$

где $\underline{\gamma} = \sqrt{(r_0 + j\omega L_0)(g_0 + j\omega C_0)}$ – коэффициент распространения; $\underline{z}_B = \sqrt{\dfrac{r_0 + j\omega L_0}{g_0 + j\omega C_0}}$ – волновое сопротивление линии; $\underline{A}_1, \underline{A}_2$ – комплексные коэффициенты, определяемые из граничных условий на концах кабеля. Через x обозначена координата по длине кабеля: в начале кабеля $x = 0$, в конце $x = l$.

Математическая модель распределенной системы электроснабжения

На рис.3 изображена упрощенная блок-схема математической модели распределенной

системы электроснабжения.

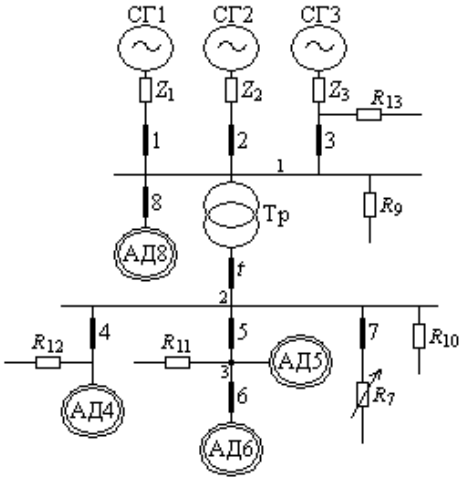


Рис.3. Однолинейная схема распределенной системы электроснабжения

Генерирующая часть системы состоит из трех синхронных генераторов $СГ1$, $СГ2$ и $СГ3$ с внутренними сопротивлениями Z_{BH1}, Z_{BH2} и Z_{BH3}, работающие на общую шину высокого напряжения через кабельные линии 1, 2 и 3. Через понижающий трансформатор по кабелю t напряжение подается на шины низкого напряжения, к которым через кабели 4, 5 и 6 подсоединены асинхронные двигатели $AD4$, $AD5$, $AD6$. Координата x отсчитывается сверху вниз по длине кабеля. Через кабель 7 подсоединена статическая нагрузка R_7. Длины кабелей обозначены через $l_1, l_2, \ldots l_8, l_t$.

Согласно (8) для определения токов и напряжений в кабелях следует определить 18 коэффициентов $\underline{A}_{11}, \underline{A}_{12}, \ldots \underline{A}_{81}, \underline{A}_{82}, \underline{A}_{t1}, \underline{A}_{t1}$.

На рис.3 также показаны резисторы R_9 .... R_{13} для имитации режимов коротких замыканий в характерных точках системы: на генераторе $СГ3$ – резистор R_{13}; на шине высокого напряжения резистор R_9; на шине низкого напряжения резистор R_{10}; на двигателях $AD5, AD6$ — резистор R_{11}; на двигателе $AD4$ – резистор R_{12}. В штатном режиме все эти резисторы имеют сопротивление 10^6 Ом; для имитации короткого замыкания принимается сопротивление соответствующего резистора 10^{-3} Ом.

Для имитации обрывов генераторов их активные внутренние сопротивления r_s принимаются также 10^6 Ом. Для имитации обрыва трансформатора активные сопротивления обмоток также принимаются 10^6 Ом. Аналогично для имитации выключения двигателей их сопротивления статоров принимаются 10^6 Ом. Скорость вращения генераторов полагаем неизменной, а для имитации рассогласования фаз для ЭДС генераторов $E = -j\omega M_f I_f$ вводятся множители $e^{j\theta 2(t)}$ и $e^{j\theta 3(t)}$, где $\theta 2(t)$ и $\theta 3(t)$ – углы рассогласования в радианах.

Для определения коэффициентов $\underline{A}_{11}, \underline{A}_{12}, \ldots \underline{A}_{81}, \underline{A}_{82}, \underline{A}_{t1}, \underline{A}_{t1}$ выпишем граничные условия на основных элементах системы и в узловых точках схемы. Уравнения напряжений на первых двух генераторах:

$$\dot{U}_1(0) + \dot{I}_1(0)Z_1 = \dot{E}_1 = -j\omega M_1 I_{f1};$$

$$\dot{U}_2(0) + \dot{I}_2(0)Z_2 = \dot{E}_2 = -j\omega M_2 I_{f2} \cdot e^{j\theta 2(t)}. \quad (9)$$

На третьем генераторе учитывается сопротивление R_{13}:

$$\left(\dot{I}_3(0) + \frac{\dot{U}_3(0)}{R_{13}}\right)Z_3 + \dot{U}_3(0) = -j\omega M_3 I_{f3} \cdot e^{j\theta 3(t)}. \quad (10)$$

Уравнения напряжений на шинах высокого напряжения

$$\dot{U}_1(l_1) = \dot{U}_2(l_2) = \dot{U}_3(l_3) = \dot{U}_8(0). \quad (11) – (13)$$

Уравнение токов на шинах высокого напряжения

$$\dot{I}_1(l_1) + \dot{I}_2(l_2) + \dot{I}_3(l_3) = \dot{I}_8(0) + \dot{I}_{t1} + \frac{\dot{U}_8(0)}{R_9}. \quad (14)$$

Уравнение первичной обмотки трансформатора

$$\dot{U}_8(0) = \underline{Z}_{t1}\dot{I}_{t1} - j\omega M_{12}\dot{I}_{t2}(0), \quad (15)$$

где

$$\dot{I}_{t1} = \dot{I}_1(l_1) + \dot{I}_2(l_2) + \dot{I}_3(l_3) - \dot{I}_8(0) - \frac{\dot{U}_8(0)}{R_9}.$$

Уравнение вторичной обмотки

$$\dot{U}_{t2}(0) + \underline{Z}_{t2}\dot{I}_{t2}(0) - j\omega M_{12}\dot{I}_{t1}. \quad (16)$$

Уравнения напряжений на шинах низкого

напряжения

$$\dot{U}_{t2}(l_t) = \dot{U}_4(0) = \dot{U}_7(0). \qquad (17) – (18)$$

Уравнение токов на шинах низкого напряжения в точке 2

$$\dot{I}_{t2}(l_t) = \dot{I}_4(0) + \dot{I}_5(0) + \dot{I}_7(0) + \frac{\dot{U}_4(0)}{R_{10}}.$$

(19)

Уравнение тока на двигателе $AD4$

$$\dot{I}_4(l_4) = \frac{\dot{U}_4(l_4)}{R_{12}} + \frac{\dot{U}_4(l_4)}{\underline{Z}_{AD4}(\Omega_4)}. \qquad (20)$$

Уравнение тока в точке 3 ответвления шины низкого напряжения

$$\dot{I}_5(l_5) = \dot{I}_6(0) + \frac{\dot{U}_6(0)}{R_{11}} + \frac{\dot{U}_6(0)}{\underline{Z}_{AD5}(\Omega_5)}.$$

(21)

Уравнение напряжения в точке 3 ответвления шины низкого напряжения

$$\dot{U}_5(l_5) = \dot{U}_6(0).$$

(22)

Уравнение напряжений на двигателях $AD6$ и $AD8$

$$\dot{U}_6(l_6) = \dot{I}_6(l_6)\underline{Z}_{AD6}(\Omega_6). \qquad (23)$$

$$\dot{U}_8(l_8) = \dot{I}_8(l_8)\underline{Z}_{AD8}(\Omega_8). \qquad (24)$$

Уравнение напряжений на статической нагрузке R_7

$$\dot{U}_7(l_7) = \dot{I}_7(l_7)\underline{R}_7. \qquad (25)$$

Конкретная запись граничных условий в характерных точках системы по уравнениям (9) – (25) представлена в Приложении.

Уравнения (9) – (25) представляют систему комплексных уравнений для определения коэффициентов $\underline{A}_{11}, \underline{A}_{12}, \ldots \underline{A}_{81}, \underline{A}_{82}, \underline{A}_{t1}, \underline{A}_{t2}$. Найдя эти коэффициенты, определяем токи статоров генераторов $\dot{I}_1(0), \dot{I}_2(0), \dot{I}_3(0)$ и токи статоров и роторов двигателей: $\dot{I}_{c\,k} = \frac{\dot{U}_k(l_k)}{\underline{Z}_{AD\,k}(\Omega_k)}$;

$$\dot{I}_{p\,k} = -\frac{j(\omega - p_k\Omega_k)L_{ad\,k}}{r_{p\,k} + j(\omega - p_k\Omega_k)L_{p\,k}}\dot{I}_{c\,k};$$

здесь $k = 4,\ 5,\ 6,\ 8$.

Отделяя вещественные и мнимые части токов статоров и роторов двигателей, находим электромагнитные моменты двигателей. Отсюда получаем возможность определения скоростей вращения двигателей решением уравнений (7). Решение выполняется в среде *MathCad*. На каждом шаге решения из уравнений (9) – (25) определяем комплексные коэффициенты $\underline{A}_{11}$ .... $\underline{A}_{t2}$, а также токи и напряжения на концах кабелей.

Анализ типичных эксплуатационных режимов системы электроснабжения

Анализ выполнен для системы, блок – схема которой изображена на рис.3. Три синхронные генератора мощностью по 20 кВт с напряжением 660 В имеют внутренние сопротивления $\underline{Z} = 0{,}02 + 1{,}1j$ Ом; ток возбуждения $\dot{I}_f = 47$ А.

Понижающий трансформатор с коэффициентом трансформации $n = 1.73$ мощностью $\underline{S} = 100$ кВА имеет сопротивления обмоток $\underline{Z}_{t1} = 0{,}05 + 31{,}4j$ Ом; $\underline{Z}_{t2} = 0{,}03 + 10{,}5j$ Ом.

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором мощностью по 10 кВт рассчитаны на напряжение 380 В и имеют номинальную скорость 950 об/мин. Сопротивление статора составляет $\underline{Z}_c = 0{,}267 + 16{,}01j$ Ом. Моменты инерции с учетом присоединенных нагрузок, кг·м^2: $J_4 = 0{,}35;\ J_5 = 0{,}15\ J_6 = 0{,}3\ J_8 = 0{,}6$.

Соединительные кабели имеют волновое сопротивление $\underline{z}_B = 18{,}25 + 13{,}45j$ Ом и коэффициент распространения

$$\underline{\gamma} = (8{,}65 + 6{,}7j)\cdot 10^{-5}.$$

Длины кабелей, м: $L_t = 500;\ L_1 = 526;\ L_2 = 660;\ L_3 = 540;\ L_4 = 560;\ L_5 = 300;\ L_6 = 350;\ L_7 = 560;\ L_8 = 900$.

На рис.4 – 8 представлен переходный процесс одновременного пуска всех четырех двигателей под нагрузками: $M_4 = 0{,}15\Omega_4;\ M_5 = 0{,}1\Omega_5;\ M_6 = 0{,}15\Omega_6;\ M_8 = 0{,}8\Omega_8$. Из рис.4 следует, что все двигатели успешно разгоняются до номинальной скорости 104 с$^{-1}$ за две секунды.

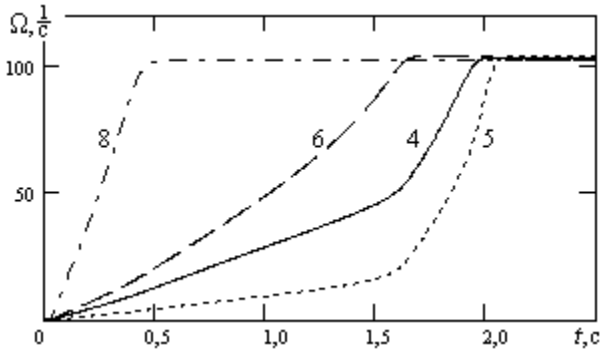


Рис. 4. Одновременный пуск всех двигателей

Сравнительно небольшое время пуска $AD8$

обусловлено повышенным напряжением на шинах высокого напряжения.

Пусковые токи и напряжения на двигателях показаны на рис.5 и 6.

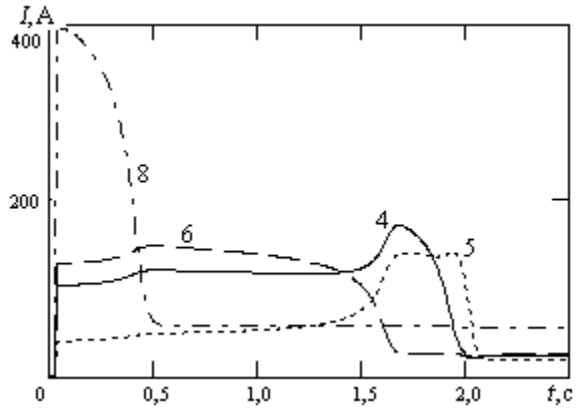


Рис. 5. Пусковые токи двигателей

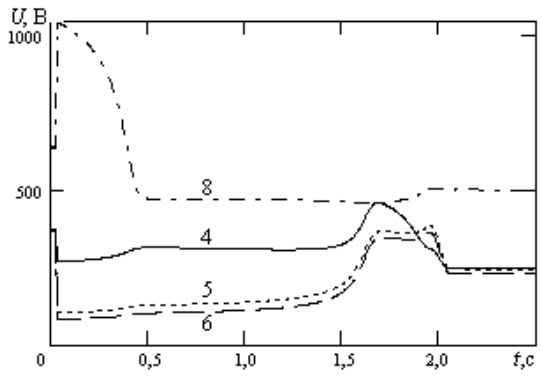


Рис. 6. Напряжения на пускаемых двигателях

Пусковые токи низковольтных двигателей превышают номинальные в пять раз. На рис.6 отчетливо заметны провалы напряжения на этих двигателях. Пуск высоковольтного двигателя $AD8$ сопровождается высокими выбросами тока и напряжения, что отчасти объясняется возникшим резонансом напряжений на этом участке системы.

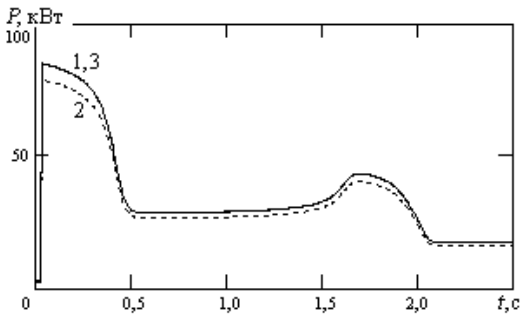


Рис. 6. Активные мощности генераторов в процессе пуска

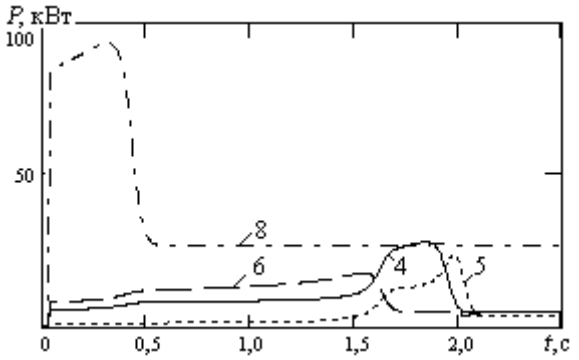


Рис. 7. Активные мощности на пускаемых двигателях

Активные мощности электрических машин изображены на рис.6 и 7. Помимо двигателей часть мощности генераторов потребляется в кабелях и в трансформаторе. Сравнительно меньшая мощность, отдаваемая в систему вторым генератором, объясняется большей длиной кабеля L_2. Далее обсуждаются результаты моделирования некоторых типичных рабочих и аварийных режимов системы.

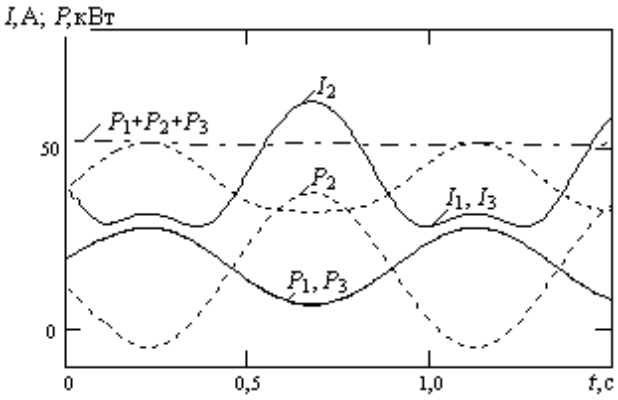


Рис. 8. Активные мощности на генераторах при нарушении синхронизации генератора

На рис.8 представлены результаты расчета стационарного режима системы при потере синхронизации второго генератора, что имитируется множителем $e^{j\theta 2(t)} = e^{j\cdot 0,2\sin 5t}$. Рисунок показывает, что разсинхронизация даже одного генератора сопровождается значительными колебаниями токов мощностей всех генераторов, хотя общая активная отдаваемая мощность и напряжение на сборных шинах системы сохраняются неизменными.

Такие часто встречающиеся случаи, как отключения или обрывы элементов системы показаны на рис.9 и 10.

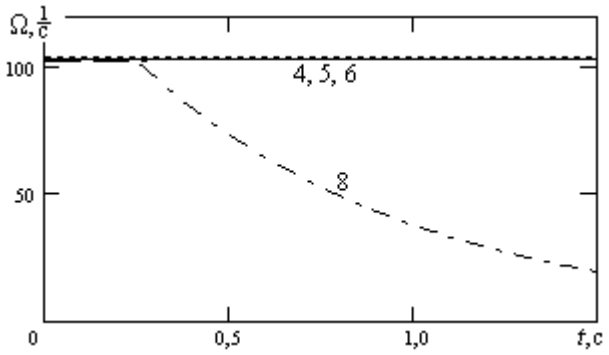


Рис. 9. Отключение двигателя $AD8$

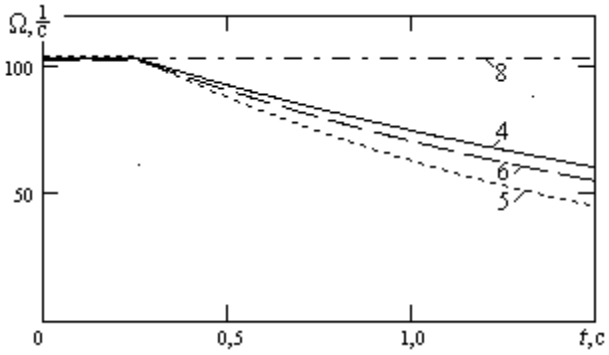


Рис. 10. Обрыв первичной обмотки трансформатора

Из рисунков следует, что при потере питания вследствие отключения или обрыва скорости двигателей снижаются в соответствии с моментами сопротивления их нагрузок и моментами инерции. Легкий двигатель $AD5$ тормозится быстрее всех.

Далее показаны процессы при увеличении нагрузки системы.

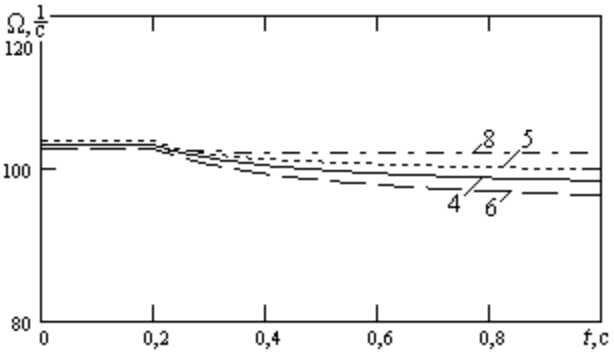


Рис. 11. Подключение статической нагрузки R_7

На рис.11 приведен расчет наброса нагрузки при подключении в момент 0,2 с статической нагрузки $R_7 = 1$Ом. Из рисунка следует, что подключаемая нагрузка является чрезмерной, так как двигатели на шинах низкого напряжения теряют скорость вследствие снижения напряжения на шинах.

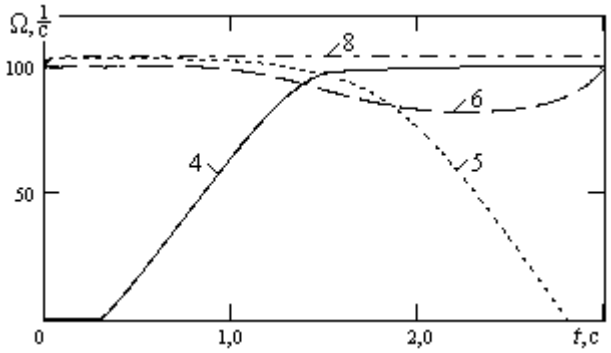


Рис. 12. Пуск двигателя $AD4$ при трех работающих двигателях

Результаты пуска в момент $t = 0{,}3$с двигателя на систему с тремя уже работающими двигателями проиллюстрированы на рис.12. Пуск сопровождается снижением напряжения на шинах низкого напряжения и потерей скорости двигателей $AD5$ и $AD6$. По мере разгона пускаемого двигателя $AD6$ восстанавливает режим, а легкий двигатель $AD5$ выпадает из синхронизма.

Тяжелый аварийный режим короткого замыкания показан на рис.13 и 14.

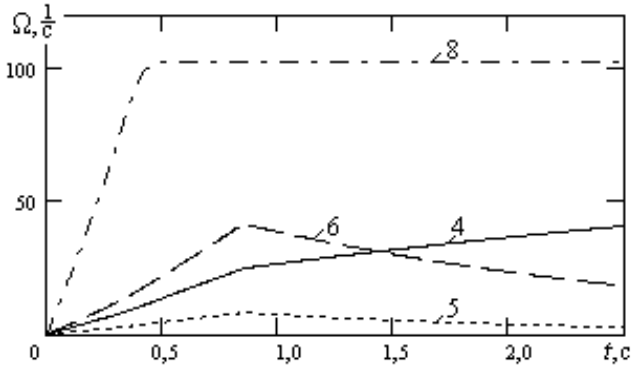


Рис. 13. Короткое замыкание двигателя $AD5$ при одновременном пуске двигателей

При одновременно пуске всех двигателей в момент $t = 0{,}85$с произошло короткое замыкание двигателя $AD5$. Это имитировалось снижением сопротивления R_{11} до величины 10^{-3} Ом. Разгон двигателей $AD5$ и $AD6$ прервался, а разгон двигателя $AD4$ только замедлился в силу его «электрической» удаленности от точки аварии.

На рис.14 показаны графики токов при аварии. Токи двигателей $AD5$ и $AD6$ упали до

нуля. Ток двигателя $AD4$ упал с пускового уровня вдвое, а ток кабеля 5 вдвое увеличился до 190 А.

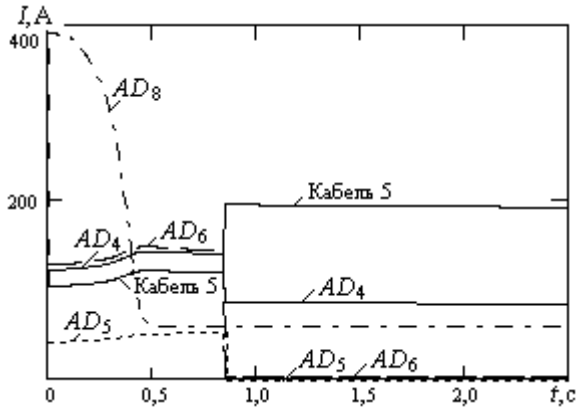


Рис. 14. Короткое замыкание двигателя $AD5$ при одновременном пуске двигателей

Авария не повлияла на режим двигателя $AD8$, так как он подсоединен к безаварийным шинам высокого напряжения.

Аналогично можно исследовать и другие штатные и аварийные режимы системы распределенного электропривода.

Заключение

В статье показано, что существует принципиальная возможность исследования режимов работы группы асинхронных двигателей, находящихся в реальной сети электроснабжения с учетом влияния кабельных линий с распределенными параметрами. Учет распределенных параметров кабельных линий позволяет выполнять расчет режима с более высокой точностью, чем обычно применяемые методики.

Применение подобного подхода к расчетной

практике позволяет разрабатывать программное обеспечение, что дает возможность задавать конфигурацию системы электроснабжения, длины и параметры ветвей кабелей, количество двигателей, трансформаторов и генераторов и их параметры, последовательности включения двигателей для расчета реальных процессов пусков и отключений приводов погрузочно – разгрузочных комплексов, характер нагрузки на двигателях при моделировании режимов работы портовых и судовых механизмов.

Перспективной представляется задача построения алгоритмов оптимального управления подобными системами на основе полупроводниковых преобразователей частоты.

Приложение

Синхронные генераторы по (9) – (10)

$$\underline{A}_{11}+\underline{A}_{12}+\underline{Z}_1\cdot\frac{\underline{A}_{11}-\underline{A}_{12}}{\underline{z}_{B1}}=-j\omega M_{f1}I_{f1};$$

$$\underline{A}_{21}+\underline{A}_{22}+\underline{Z}_2\cdot\frac{\underline{A}_{21}-\underline{A}_{22}}{\underline{z}_{B2}}=$$

$$=-j\omega M_{f2}I_{f2}\cdot e^{j\theta 2(t)};$$

$$\underline{A}_{31}+\underline{A}_{32}+\underline{Z}_3\cdot\frac{\underline{A}_{31}-\underline{A}_{32}}{\underline{z}_{B3}}+$$

$$+\underline{Z}_3\cdot\frac{\underline{A}_{31}+\underline{A}_{32}}{R_{13}}=-j\omega M_{f3}I_{f3}\cdot e^{j\theta 3(t)}.$$

Напряжения и токи на шинах высокого напряжения по (11) – (14)

$$\underline{A}_{11}e^{-\underline{\gamma}_1 l_1}+\underline{A}_{12}e^{\underline{\gamma}_1 l_1}=\underline{A}_{21}e^{-\underline{\gamma}_2 l_2}+\underline{A}_{22}e^{\underline{\gamma}_2 l_2};$$

$$\underline{A}_{31}e^{-\underline{\gamma}_3 l_3}+\underline{A}_{32}e^{\underline{\gamma}_3 l_3}=\underline{A}_{21}e^{-\underline{\gamma}_2 l_2}+\underline{A}_{22}e^{\underline{\gamma}_2 l_2};$$

$$\underline{A}_{31}e^{-\underline{\gamma}_3 l_3}+\underline{A}_{32}e^{\underline{\gamma}_3 l_3}=\underline{A}_{81}+\underline{A}_{82};$$

$$\frac{\underline{A}_{11}e^{-\underline{\gamma}_1 l_1}-\underline{A}_{12}e^{\underline{\gamma}_1 l_1}}{\underline{z}_{B1}}+\frac{\underline{A}_{21}e^{-\underline{\gamma}_2 l_2}-\underline{A}_{22}e^{\underline{\gamma}_2 l_2}}{\underline{z}_{B2}}+$$

$$+\frac{\underline{A}_{31}e^{-\underline{\gamma}_3 l_3}-\underline{A}_{32}e^{\underline{\gamma}_3 l_3}}{\underline{z}_{B2}}=\frac{\underline{A}_{81}-\underline{A}_{82}}{\underline{z}_{B8}}+$$

$$+\dot{I}_{t1}+\frac{\underline{A}_{81}+\underline{A}_{82}}{R_9}.$$

Уравнения первичной и вторичной обмоток трансформатора по (15) – (16)

$$\underline{A}_{81}+\underline{A}_{82}=\underline{Z}_{t1}\dot{I}_{t1}-j\omega M_{12}\frac{\underline{A}_{t1}-\underline{A}_{t2}}{\underline{z}_{Bt}},$$

где $\dot{I}_{t1}$ получаем из (14);

$$\underline{A}_{t1}+\underline{A}_{t2}+\underline{Z}_{t2}\frac{\underline{A}_{t1}-\underline{A}_{t2}}{\underline{z}_{Bt}}-j\omega M_{12}\dot{I}_{t1}.$$

Уравнения напряжений и токов на шинах низкого напряжения по (17) – (19)

$$\underline{A}_{t1}e^{-\underline{\gamma}t\cdot l_t}+\underline{A}_{t2}e^{\underline{\gamma}t\cdot l_t}=\underline{A}_{41}+\underline{A}_{42};$$

$$\underline{A}_{71}+\underline{A}_{72}=\underline{A}_{41}+\underline{A}_{42};$$

$$\frac{\underline{A}_{t1}e^{-\underline{\gamma}_t l_t}-\underline{A}_{t2}e^{\underline{\gamma}_t l_t}}{\underline{z}_{Bt}}=\frac{\underline{A}_{41}-\underline{A}_{42}}{\underline{z}_{B4}}+$$

$$+\frac{\underline{A}_{51}-\underline{A}_{52}}{\underline{z}_{B5}}=\frac{\underline{A}_{71}-\underline{A}_{72}}{\underline{z}_{B7}}+\frac{\underline{A}_{41}+\underline{A}_{42}}{R_{10}}.$$

.

Уравнение тока на двигателе $AD4$ по (20)

$$\frac{\underline{A}_{41}e^{-\underline{\gamma}_4 l_4} - \underline{A}_{42}e^{\underline{\gamma}_4 l_4}}{\underline{z}_{B4}} = \frac{\underline{A}_{41}e^{-\underline{\gamma}_4 l_4} + \underline{A}_{42}e^{\underline{\gamma}_4 l_4}}{R_{12}} + \frac{\underline{A}_{41}e^{-\underline{\gamma}_4 l_4} + \underline{A}_{42}e^{\underline{\gamma}_4 l_4}}{\underline{Z}_{AD4}(\Omega_4)}.$$

Уравнения напряжения и тока в точке 3 шины низкого напряжения по (21) – (22)

$$\frac{\underline{A}_{51}e^{-\underline{\gamma}_5 l_5} - \underline{A}_{52}e^{\underline{\gamma}_5 l_5}}{\underline{z}_{B5}} = \frac{\underline{A}_{61} - \underline{A}_{62}}{\underline{z}_{B6}} + \frac{\underline{A}_{61} + \underline{A}_{62}}{R_{11}} + \frac{\underline{A}_{61} + \underline{A}_{62}}{\underline{Z}_{AD5}(\Omega_5)};$$

$$\underline{A}_{51}e^{-\underline{\gamma}_5 \cdot l_5} + \underline{A}_{52}e^{\underline{\gamma}_5 \cdot l_5} = \underline{A}_{61} + \underline{A}_{62}.$$

Уравнения напряжений на двигателях $AD6$, $AD8$ и статической нагрузке R_7 по (23) – – (25)

$$\frac{\underline{A}_{61}e^{-\underline{\gamma}_6 l_6} - \underline{A}_{62}e^{\underline{\gamma}_6 l_6}}{\underline{z}_{B6}} \underline{Z}_{AD6}(\Omega_6) = \underline{A}_{61}e^{-\underline{\gamma}_6 l_6} + \underline{A}_{62}e^{\underline{\gamma}_6 l_6};$$

$$\frac{\underline{A}_{81}e^{-\underline{\gamma}_8 l_8} - \underline{A}_{82}e^{\underline{\gamma}_8 l_8}}{\underline{z}_{B8}} \underline{Z}_{AD8}(\Omega_8) = \underline{A}_{81}e^{-\underline{\gamma}_8 l_8} + \underline{A}_{82}e^{\underline{\gamma}_8 l_8};$$

$$\frac{\underline{A}_{71}e^{-\underline{\gamma}_7 l_7} - \underline{A}_{72}e^{\underline{\gamma}_7 l_7}}{\underline{z}_{B7}} R_7 = \underline{A}_{71}e^{-\underline{\gamma}_7 l_7} + \underline{A}_{72}e^{\underline{\gamma}_7 l_7}.$$

Список литературы

1. Ещин Е.К. Модель асинхронного электродвигателя в системе электроснабжения / Е.К.Ещин // Электротехника, 2002. – № 1. – С.40 - 43.
2. Ещин.Е.К. Управление состоянием группы асинхронных электродвигателей в сети электроснабжения // Изв.ВУЗов. Электромеханика. – 2020. – Т.63. – № 1. – С.62 – 68. DOI: 10.17213/0136 – 3360 – 2020 – 1 – 62 – 68.
3. Справочник судового электротехника. Т.1. Судовые электроэнергетические системы и устройства / Под ред. Г.И.Китаенко. – Л.: Судостроение, 1980. – 528 с.
4. Усихин В.Н. О влиянии нагрузки на токи в электроустановках переменного тока до 1 кВ // Промышленная энергетика. – 2001.– № 1. – С.29 – 33.
5. Бабокин Г.И., Шпрехер Д.М., Колесников Е.Б., Овсянников Д.С. Исследование частотного двухдвигательного пуска электропривода скребкового конвейера методом математического моделирования // Изв.ВУЗов. Электромеханика. – 2022. – Т.65. – № 1. – С.49 – 55. DOI: 10.17213/0136 – 3360 – 2022 – 1 – 49 – 55.
6. Канов Л.Н. Оптимизация процесса пуска распределенного асинхронного электропривода / Научный журнал «Энергетические установки и технологии». 2021. Т.7. № 4. Изд. ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет». С.23 – 29. ISSN 2413 – 5526.
7. Комков А.Н., Чернев М.Ю., Блюк В.В. Исследование взаимного влияния асинхронных электроприводов центробежных насосов в составе электротехнической системы // Известия ВУЗов. Электромеханика. 2019. Т.62. № 5. С.62 – 67. DOI: 10.17213/0136 – 3360 – 2019 – 5 – 62 – 67.
8. Бурмакин О.А. Моделирование судовой электростанции со встроенной сетью постоянного тока в среде *MATLAB* / О.А.Бурмакин, В.В.Гуляев, Ю.С.Малышев, С.В.Попов. – Интеллектуальная электротехника. 2021. № 3. С. 75-84. DOI: 10.46960/2658-6754_2021 – 3 – 75.
9. Герман Л.А. Уточненный метод расчета токов короткого замыкания в тяговой сети переменного тока / Л.А.Герман, И.П.Карпов // – Интеллектуальная электротехника. 2021. № 2. С. 15-25. DOI: 10.46960/2658-6754_2021 – 2 – 15.
10. Страхов С.В. Переходные процессы в электрических цепях, содержащих машины переменного тока. М., Л.: Государственное энергетическое издательство, 1960. 247 с.
11. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – М: Изд-во «Юрайт», 2012. 701 с.
12. Электрические системы. Электрические сети / В.А.Веников, А.А.Глазунов, Л.А.Жуков и др. М.: Изд-во «Высшая школа», 1998. 511 с.
13. Копылов И.П.Математическое моделирование электрических машин. – М.: изд-во «Высшая школа», 2001. – 431 с.
14. Ковач К., Рац И. Переходные процессы в машинах переменного тока. – М., Л.: изд-во «Высшая школа», 2001. – 528 с.

References

1. Eshchin E.K. *Model asinchronnogo elektrodvigatelya v ssisteme elektrosnabzheniya* [A Model of Asynchronous electric motor is in the System of Electrosupply]. Electrotechnique/. – 2002. No.1. – PP.40-43.
2. Eshchin E.K. *Upravlenie sostoyaniem gruppy asinkhronnykh elektrodvigatelei v seti* elektrosnabzheniyz [A Control the State of Group of Asynchronous electric motors is in the Network of Electrosupply]. News of higher educational establishments. Electromechanics/. – 2020. Vol. 63, No.1.– PP.62-68. DOI: 10.17213/0136 – 3360 – 2020 – 1 – 62 – 68.
3. Kitaenko G.I. *Spravochnik sudovogo elektrotekhnika.T.1.Sudovye elektroenergeticheskiesistemy I ustroistva* [Reference book of ship electrical engineer. T.1. Ship electroenergy systems and devices]. Leningrad: Izd. «Shipbuilding», 1980. –

528 p.
4. Usikhin V.N. *O vliyanii nagruzki na toki v elektroustanovkakh peremennogo toka do 1 kV* [About Influence of Loading on Currents in Electroplants of Alternating current to 1 kV]. Industrial Energetic/. – 2001. – No.1. – PP.29 – 33.
5. Babokin G.I., Shprekher D.M., Kolesnikov E.B., Ovsyannikov D.S. *Issledovanie chastotnogo dvukhdvigatel 'nogo puska elektroprivoda skrebkovogo konveera metodom matematicheskogo modelirovaniya* [Research of the frequency twomotors starting of electromechanic of scraper conveyer by the method of mathematical design]. News of higher educational establishments. Electromechanics/. – 2022. Vol. 65, No.1.– PP.49-55. DOI: 10.17213/0136 – 3360 – 2022 – 1 – 49 – 55.
6. Kanov L.N. *Optimizatsiya protsessa puska raspredelennogo asinkhronnogo elektroprivoda* [Optimization of Process of Starting of the up-diffused Asynchronous electromechanic]. A scientific magazine is the «Power plants and technologies». 2021. T.7. No. 4. Publ. of FGAOU In the «Sevastopol state university». P.23 – 29. ISSN 2413 – 5526.
7. Komkov A.N., Chernev M.U., Bluk V.V. *Issledovanie vzaimnogo vliyaniya asinkhronnykh elektroprivodov tsentrobezhnykh nasosov v sostave elektrotekhnicheskoi sistemy* [Research of cross-coupling of asynchronous electromechanics of Chempumps in Composition the Electrical engineering system]. News of higher educational establishments. Electromechanics/. – 2019. Vol. 62, No.5.– PP.62-67. DOI: 10.17213/0136 – 3360 – 2029 – 5 – 62 – 67.
8. Burmakin O.F., Gulyaev V.V., Malyshev Y.U., Popov S.V. *Modelirovanie sudovoi elektrostantsii so vstroennoi set"yu postoyannogo toka v srede MATLAB* [Design of ship power-station with the built-in network of direct-current in the environment of MATLAB]. Intellectual electrical engineering. – 2021. No. 1. PP. 75-84. DOI: 10.46960/2658-6754_2021 – 3 – 75.
9. German L.A., Karpov I.P. *Utochnennyi metod rascheta tokov korotkogo zamykaniya v tyagovoi seti peremennogo toka* [The specified method of calculation of currents of short circuit is in the hauling network of alternating current]. Intellectual electrical engineering. – 2021. No. 2. PP. 15-25. DOI: 10.46960/2658-6754_2021 – 2 – 15.
10. Strakhov S.V. *Perekhodnye protsessy v elektricheskikh tsepyakh, soderzhashchikh mashiny peremennogo toka* [Transients are in Electric chains, Containing the machines of Alternating current]. M., L.: the State power publishing house, 1960. 247 p.
11. Bessonov L.A. *Teoreticheskie osnovy elektrotekhniki. Elektricheskie tsepi* [Theoretical bases of the Electrical Engineering. Electric chains]. M.: Izd-vo of «Yurayt», 2012. 701 p.
12. Venikov V.A., Glazunov A.A., Zhukov L.A. *Elektricheskie sistemy. Elektricheskie seti*]. M.: Izd-vo is «Higher school», 1998. 511 p.
13. Kopylov I.P. *Matematicheskoe modelirovanie electricheskikh mashin* [Mathematical Modeling of Electric machines]. Moscow: Izd. «Higher school», 2001. – 431 p.
14. Kovach K., Rats I. *Perekhodnye protsessy v mashinakh peremennogo toka* [Transients are in the Machines of Alternating current]. Moscow, Leningrad: Izd. «Higher school», 2001. – 528 p.

УДК 621.31

Проблемы устойчивости энергосистем с доминированием силовых электронных преобразователей

Ю.А.Майорова[1], В.Н. Третьяченко[2]
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33, г. Севастополь, 299053, Россия [1]YAMayorova@sevsu.ru., [2]tretyachencko.vadik@yandex.ru

Статья поступила 22.02.2023 г.; после доработки 27.02.2023 г.

Аннотация

Кратковременная нестабильность частоты может возникать в современных энергосистемах по двум основным причинам: высокое проникновение энергоресурсов на основе силовых электронных преобразователей (СЭП), таких как солнечные фотоэлектрические и ветровые турбины, снижающих инерционность системы, и неспособность возобновляемых источников энергии (ВИЭ) сбалансировать цепочку спрос/предложение из-за их непредсказуемых моделей. Современные энергосистемы становятся все более сложными из-за этих быстрых преобразований. В данной статье подробно представлены проблемы, вызванные этими преобразованиями, и подробно обсуждаются некоторые потенциальные решения.

Ключевые слова: устойчивость энергосистемы; технологии на основе силовых электронных преобразователей (СЭП); малая инерционность

Problems of sustainability of energy systems with dominance power electronic converters

Y.A. Mayorova [1], V.N. Tretyachenko[2]
FAEI HE «Sevastopol State University», 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia [1]YAMayorova@sevsu.ru., [2]tretyachencko.vadik@yandex.ru

Received 22.02.2023 y.; received in final form 27.02.2023 y.

Abstract

Short-term frequency instability can occur in modern power systems for two main reasons: high penetration of energy resources based on power electronic converters (PEC), such as solar photovoltaic and wind turbines, which reduce the inertia of the system, and the inability of renewable energy sources (RES) to balance the supply/demand chain due to their unpredictable patterns. Modern power systems are becoming increasingly complex due to these rapid transformations. This article presents in detail the problems caused by these transformations, and discusses some potential solutions in detail.

Keywords: stability of the power system; technologies based on power electronic converters (PEC); low inertia

Введение

Современные энергосистемы претерпевают значительные изменения в уровнях генерации, передачи, распределения и использования энергии с внедрением быстро развивающихся технологий на основе СЭП, в связи с массовой интеграцией ВИЭ на основе СЭП, включая солнечные фотоэлектрические и ветровые турбины, в то время как приборы и методы управления в других секторах зависят от СЭП. Кратковременная нестабильность частоты может возникать в современных энергосистемах по двум основным причинам: высокое проникновение энергоресурсов на основе СЭП, таких как солнечные фотоэлектрические и ветровые турбины, снижающих инерционность системы, и неспособность ВИЭ сбалансировать цепочку спрос/предложение из-за их непредсказуемых моделей. Современные

энергосистемы становятся все более сложными из-за этих быстрых преобразований. В данной статье подробно представлены проблемы, вызванные этими преобразованиями, и подробно обсуждаются некоторые потенциальные решения.

Проблемы технологий на основе СЭП в энергосистеме

ВИЭ, особенно солнечная и ветровая энергия, являются стохастическими по своей природе. Ресурсы солнечной и ветровой энергии имеют переменные тенденции в различных временных масштабах (ежедневные и сезонные). С другой стороны, спрос также является стохастическим и постоянно меняется. В современных энергосистемах как генерация, так и нагрузка изменяются в течение нескольких минут и часов [1]. Было проведено множество исследований по прогнозированию выработки солнечной и ветровой энергии, которые в дальнейшем были реализованы для снижения неопределенности энергосистем [2]. Однако результаты прогнозирования не являются точными для точной шкалы времени и могут создать резкое отклонение частоты системы, особенно в малоинерционной энергосистеме [3]. Таким образом, увеличение проникновения ПЭС увеличивает стохастическую вариацию выработки активной энергии в энергосистеме, что может привести к непредсказуемым ситуациям в этой системе [4].

В традиционной энергосистеме синхронные генераторы работают как источник инерции, поскольку вращающаяся масса обеспечивает физические характеристики этой системы. Частота системы напрямую связана с вращением машины, и инерция системы, создаваемая синхронной машиной, помогает поддерживать частоту системы, минимизируя начальные отклонения частоты. Для этого общая механическая инерция обладает некоторыми резистивными свойствами (в виртуальном режиме) по отношению к изменению вращения машины [5]. Как следует из уравнения (1), небольшой дисбаланс в производстве электроэнергии и нагрузке может создать отклонение частоты в энергосистеме.

$$H = \frac{J \cdot \omega_0^2 / 2}{S} = \frac{E_{kin}}{S} = \frac{H_i \cdot S_i}{S_{sys}} \qquad (1)$$

Здесь H - постоянная инерции, f - частота системы, S - номинальная мощность машины, E_{kin} - кинетическая энергия, H_{sys} - эквивалентная инерция всей энергосистемы, S_{sys} - база системы, а H_i и S_i - инерция и номинальная мощность i-й машины

Из приведенного выше уравнения видно, что инерция системы прямо пропорциональна кинетической энергии машины для постоянной номинальной мощности; с увеличением доли кинетической энергии (т.е. генерации синхронного типа) инерция системы увеличивается. В обычной энергосистеме источником кинетической энергии, а также инерции системы являются синхронные генераторы, но современные энергосистемы имеют как меньшую кинетическую энергию, так и меньшую инерцию. С другой стороны, большинство приборов и механизмов управления оборудованием, принятых в современных энергосистемах, основаны на технологиях СЭП, что значительно снижает инерцию. Скорость включения таких технологий растет с каждым днем, что приводит к резкому снижению инерции системы.

В энергосистеме с несколькими генераторами каждая машина должна работать на одинаковой частоте (т.е. синхронно). Если происходит большое отклонение мощности, отдельные генераторы в энергосистеме могут потерять синхронизацию, после чего начнутся разнородные колебательные движения вокруг центра инерции (ЦИ). На этом этапе частота каждого агрегата может быть не одинаковой, а представлять собой колебательную тенденцию. Скорость колебаний зависит от разницы между PM(t) и PL(t), как указано в уравнении (1). Однако частота каждого блока замкнута на ИСП (см. уравнения (2) и (3)), а демпфирующие и инерционные силы между блоками пытаются вернуть всю систему к синхронизации [6]. Если эти силы не в состоянии удержать систему в исходном состоянии, то для поддержания стабильности системы необходимо задействовать какой-либо механизм управления. Частота системы и скорость ее изменения напрямую связаны с инерцией энергосистемы. Меньшая инерционность системы приводит к большим колебаниям частоты.

$$f_{COI} = \frac{\sum_{i=1}^{n} H_i S_i f_i}{\sum_{i=1}^{n} H_i S_i} \qquad (2)$$

$$f_{COI}(t) = 1 + \frac{\Delta P}{2H_{sys}} t \qquad (3)$$

В дополнение к колебаниям частоты, огромное внедрение технологий СЭП создает другие проблемы стабильности в энергосистеме. Устойчивость угла поворота ротора и малосигнальная

устойчивость энергосистемы напрямую связаны с синхронными генераторами, подключенными к сети. Огромное проникновение ВИЭ на основе СЭП уменьшает долю синхронных генераторов в энергосистеме, что может повлиять на форму, частоту и коэффициент демпфирования колебаний ротора. Кроме того, энергосистема не может использовать стабилизатор энергосистемы, подключенный к синхронному генератору. В случае больших возмущений в системе также может возникнуть переходная неустойчивость за счет изменения потока мощности в линиях связи. Стабильность частоты также связана со стабильностью угла поворота ротора, поскольку скорость вращения ротора генераторов регулируется на основе частоты системы. Поскольку технологии на основе СЭП имеют возможность управлять активной и реактивной мощностью как на стороне генерации, так и на стороне нагрузки, они могут быть использованы для поддержания стабильности угла ротора и стабильности частоты в трубопроводе. Более того, малоинерционная энергосистема будет способна поддерживать баланс частоты во время значительного отклонения при быстрой смене генерации/нагрузки

Технологии на основе СЭП вводят две новые формы проблем стабильности: резонансную стабильность и стабильность, обусловленную преобразователем. Первая (т.е. резонансная устойчивость) возникает при периодическом обмене энергией в колебательном режиме из-за недостаточного рассеивания энергии при увеличении величины параметров (т.е. напряжения, тока, крутящего момента и т.д.). Существуют два типа резонансной устойчивости: торсионный и электрический резонанс. Торсионный резонанс в основном возникает в обычных энергосистемах, содержащих синхронные генераторы, в то время как электрический резонанс возникает в системах, содержащих ВИЭ (особенно асинхронные генераторы с регулируемой скоростью в ветровых турбинах). Этот резонанс может привести к большим колебаниям тока и напряжения, а также к большим возмущениям электрического момента, которые в дальнейшем влияют на электрические и механические компоненты. Аналогично, вторая (т.е. стабильность, обусловленная преобразователем) полностью связана с управлением СЭП и возникает в форме колебаний из-за явления перекрестной связи между динамическими электромеханическими устройствами и переходной природой электромагнитных сетей.

Потенциальные области исследования

Принятый подход к обеспечению стабильности системы предполагает управление соответствующими механизмами с учетом некоторых параметров отклика. Однако, что касается вышеупомянутых вопросов, классические методы не могут эффективно решать проблемы из-за их медленного отклика, низкой точности и плохой устойчивости.

Подходы к управлению со стороны генерации в основном сосредоточены на балансе спроса и предложения, в то время как проблемы колебаний частоты могут быть эффективно решены методами управления со стороны спроса. Параметры отклика, такие как скорость изменения частоты и падение частоты являются важными индикаторами состояния системы, позволяющими грамотно выбрать соответствующий подход к управлению.

Для регулирования характеристик системы и поддержания стабильности системы, реакция в реальном времени должна измеряться в пределах микросекунд, для чего необходим эффективный и интеллектуальный контроллер. Время отклика является основной проблемой при внедрении механизма управления в систему.

Кроме того, характеристики выработки электроэнергии от ВИЭ непредсказуемы и резко колеблются, поэтому контроллер должен быть надежным, чтобы он мог справиться с нештатными ситуациями. От системы требуется управление и защита компонентов от сбоев. Кроме того, большинство исследований проводилось для интеграции крупных установок, таких как солнечные и ветряные электростанции, однако в современной практике люди устанавливают распределенные энергетические системы меньшего масштаба.

Вводятся различные торговые практики и механизмы управления, что приводит к проблемам в работе и защите системы. Такие проблемы должны решаться подходами снизу-вверх, а не только для крупных электростанций. Было проведено несколько исследований для решения проблем малоинерционных энергосистем, но конкретные результаты не были достигнуты с практической и эффективной проверкой, и было выявлено несколько ограничений. Рассмотрим некоторые потенциальные области исследования для решения текущих проблем энергосистем с преобладанием СЭП.

Сетевые преобразователи электроэнергии

Традиционные инверторы были разработаны для работы в качестве источников тока относительно параметров сети, при этом синхронные генераторы в основном используются в качестве опорной системы (т.е. "слабая шина"), а генераторы, подключенные к инвертору, выступают в качестве источников мощности (т.е. "следующий тип"). Эти традиционные инверторы используют PLL для синхронизации подключенных генераторов с электросетью. Однако инвертор должен быть способен обрабатывать случайные возмущения, такие как внезапные колебания напряжения и изменения фазы, чтобы восстановить синхронизацию системы. С увеличением доли несинхронных генераторов в современных энергосистемах начинают преобладать технологии СЭП, а концепция инверторов, следующих за сетью, устаревает из-за необходимости наличия опорной системы (т.е. синхронного генератора) для поддержания параметров. Следовательно, в современные энергосистемы необходимо внедрить форму ресурса на основе СЭП для установки соответствующих параметров, вместо того чтобы следовать существующим значениям (как это делают инверторы, следящие за сетью). Сетевой преобразователь мощности - это силовой электронный блок, который помогает управлять амплитудой и частотой напряжения (т.е. величиной и углом напряжения) в точке общей связи в энергосистеме. Его основная функция заключается в регулировании выходного напряжения и/или тока таким образом, чтобы частота системы и напряжение оставались в приемлемом диапазоне. Поскольку сетевой инвертор способен вводить мгновенную активную и реактивную мощность для регулирования частоты и напряжения в системе, он может рассматриваться как устройство "слабой шины" в изолированной энергосистеме. Однако он может использоваться как в изолированном, так и в подключенном к сети режиме, ведя себя как синхронный генератор в традиционных энергосистемах. В основном, инвертор, формирующий сеть, использует четыре метода: управление виртуальной синхронной машиной, регулирование наклона, контроль соответствия, управление виртуальным осциллографом. Концепция инвертора, формирующего сеть, с новыми адаптациями может решить вышеупомянутые проблемы, но его фактические характеристики, реакция и влияние неизвестны [7]. За последние несколько лет в многочисленных исследованиях были предложены адаптации, а также описание их эффективности. Одним из популярных методов, используемых с синхронными генераторами и инверторами, является дроп-контроль, который устанавливает линейную зависимость между частотой (активной мощностью) и напряжением (реактивной мощностью). Был предложен регулятор дробного порядка для инвертора, формирующего сеть, ориентированный на применение в высокоэнергетических системах, но динамика системы оказалась медленной и нестабильной. Также рассматривались стратегии управления на основе виртуального осциллятора для улучшения производительности, но эти подходы все еще находятся на экспериментальной стадии и нуждаются в реальной проверке или же управление в скользящем режиме для контура переменного напряжения с внутренним контуром тока, но эта концепция довольно сложна и страдает от высоких вычислительных затрат. Аналогично, методы управления с обратной связью по состоянию для прямого управления напряжением переменного тока в инверторе, формирующем сеть, имеют проблемы со связью с активной мощностью. Процессы адаптации новых концепций с инверторами, формирующими сеть, продолжаются, но практических и надежных решений пока не получено решений на сегодняшний день не получено [8]. Для продвижения этой концепции в будущем в данном секторе могут быть проведены значительные исследования. Например, комбинация нескольких концепций формирования сети (например, гибридная модель виртуального осциллятора и согласованного управления) может быть проведена путем подчеркивания достоинств и пренебрежения недостатками конкретных методов (например, метод управления виртуальным осциллятором имеет лучшее поведение при больших сигналах, а метод согласованного управления является более надежным; таким образом, лучший результат может быть достигнут путем их комбинации).

Виртуальная электростанция /Виртуальный синхронный генератор

Генераторы на базе СЭП используют механизм управления спадом для поддержания частоты, но большинство из них используют подход разделения мощности в установившемся, но не переходном режиме. Кроме того, в механизме управления спадом отсутствуют технические параметры, включая инерцию системы, что было решено введением концепции, называемой вир-

туальной электростанцией (ВЭС) или виртуальным синхронным генератором (ВСГ). ВЭС создает необходимую инерцию виртуально, вводя соответствующее количество мощности, и инерция минимизирует колебания частоты (как первичной, так и вторичной), вызванные различными факторами и событиями Способность вводить соответствующую мощность (как активную, так и реактивную) для стабильности частоты и напряжения является важной характеристикой эффективной ВЭС. Однако для переключения ВИЭ (особенно энергии ветра) из одного устойчивого состояния в другое при нормальной работе требуется несколько минут. Поэтому для поддержания сбалансированных энергетических условий и обеспечения виртуальной инерции во время переходных процессов вместе с СЭП всегда устанавливается Системы Накопления Электроэнергии на базе Аккумуляторных батарей (СНЭА). С другой стороны, сложность может возрастать с увеличением числа СЭП в системе.

Эти проблемы могут быть решены путем поддержания эффективной координации между ВЭС, которые связывают и разделяют необходимую инерционную долю. Для достижения этой цели может быть внедрена интеллектуальная архитектура для мониторинга, оценки и управления параметрами в режиме реального времени. В предлагаемой системе распределенные ВЭС и СНЭА обеспечивают виртуальную инерцию для соответствующих ВИЭ, при этом все системы управляются с помощью иерархической архитектуры управления [9].

Для прогнозирования электрических параметров энергосистемы может быть разработана модель краткосрочного прогнозирования временных рядов, которая может быть использована для определения оптимальной координации между связанными технологиями (т.е. размер и расположение ВЭС, СЭП и параметры сети), чтобы обеспечить безопасную и надежную работу системы. Иерархический механизм управления на основе глубокого обучения может быть разработан для координации распределенной и центральной систем управления, а также для динамического контроля всей энергосистемы для нормальной работы. Предлагаемая модель основана на распределенной концепции, которая может управлять распределением мощности, тем самым контролируя всю энергосистему. Для разработки этого инструмента реального времени могут быть использованы различные платформы, которые позволяют интерпретировать и визуализировать данные, полученные от оборудования, в удобной для пользователя форме [10]. Одной из основных проблем при разработке и внедрении предлагаемой системы является то, что центральное управление должно работать в проактивном режиме, поскольку процесс коммуникации (т.е. отправка и получение данных) занимает некоторое время, что может задержать весь процесс управления. Для этого модели оптимизации и прогнозирования должны быть эффективными и точными, чтобы система могла оперативно предсказывать характеристики и вводить действия в нужное время.

Другие решения

В связи с выявленной проблемой управления частотой в малоинерционных энергосистемах было придумано и/или исследуется множество потенциальных решений. В нескольких научных статьях были предложены эффективные и надежные методы для решения проблем управления частотой в малоинерционных системах, перечисленные в таблице 1.

Концепция	**Особенности**
Эмуляция инерции с помощью электронных компонентов и СНЭА	Эта концепция, предусматривает. использование, электронных устройств, таких как суперкондесаторы или СНЭА, для обеспечения инерционной реакции энергосистемы во время сбоя или нестабильной ситуации (т.е. условие отклонения частоты). Снижение мощности во время дисбаланса энергосистемы или неисправности может быть компенсировано введенными компонентами для поддержания частотной характеристики, аналогично обычным синхронным генераторам. Кроме того, эта концепция помогает в синхронизации системы, предоставляя виртуальные методы управления
Стимулирование синхронных конденсаторов или высокоинерциоо-ных генераторов	Синхронные конденсаторы могут быть введены для обеспечения инерции и мощности короткого замыкания в малоинерционных сетевых системах с помощью концепций восстановления напряжения во время нестабильности системы. Как правило, в этом методе эмулированные генераторы

	рассматриваются как обычные генераторы, которые могут обеспечить требуемую инерцию, активную и реактивную мощности. Одной из сложностей этой методики является требование оптимизированной методики для выбора соответствующих мощностей и мест расположения эмулированных генераторов.
Методы свертывания и модификация сетевого кода	Для увеличения вклада инерции могут использоваться ограничения на производство электроэнергии, ограничения на мгновенную выработку комбинированного цикла или ценовые сигналы. Этот подход в основном основан на планировании и эксплуатации существующей энергосистемы, а не на внедрении новых технологий. Более того, существующий код энергосистемы может быть изменен для поддержания системы во время приемлемой системной нестабильности. Например, рабочие настройки существующего оборудования управления могут быть пересмотрены таким образом, чтобы увеличить допустимый предел, при котором не будет происходить автоматического отключения при небольших уровнях отклонения.

Заключение

Внедрение технологий на основе СЭП резко снижает инерционность системы, что приводит к многочисленным проблемам в стабильности энергосистемы. Включение инерционной поддержки может быть лучшим вариантом, но это требует надежных, безопасных, надежных и практичных решений для поддержания системы в пределах приемлемого уровня инерции. Были проведены исследования, направленные на решение проблем малоинерционных систем благодаря технологиям на основе СЭП. Однако предложенные исследования не дали конкретных результатов с практической и эффективной проверкой, и было выделено несколько ограничений. Тем не менее, в этой области существует множество исследовательских пробелов, которые могут быть заполнены в будущем. На основе исследований, взятых из литературы, были определены две основные задачи для решения обсуждаемых вопросов: модификация кодов энергосистем в соответствии с текущей ситуацией, а также адаптация новых операционных стратегий; внедрение нового устройства (возможно, на основе СЭП) для этой конкретной цели. Согласно предыдущему исследованию, рекомендуются следующие усовершенствования: интеллектуальные технологии на основе СЭП для улучшения временной реакции, точности и надежности контроллеров и их комбинаций, интеллектуальные методы для оптимизации рейтинга и координации, интегрированных ВИЭ, и интеллектуальные модели для оптимизации размера, количества и расположения СНЭА в конфигурации ВЭС.

Список литературы

1 Рубан Н.Ю., Аскаров А.Б., Андреев М.В., Киевец А.В., Рудник В.Е. Анализ влияния возобновляемых источников энергии с силовыми преобразователями на процессы в современных энергосистемах. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2020. № 36. С. 7-30.

2 Гольдштейн М.Е., Кононов Н.С., Шульгин А.О. Перераспределение потоков мощности между сечениями электрической сети устройствами продольной компенсации на основе преобразователей напряжения. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2019. Т. 19. № 3. С. 13-22.

3 Питерс Д., Килпер Т., Кале М., Джамал Т., фон Майделл К. Краткосрочные прогнозы солнечной активности для предиктивного управления емкостью аккумуляторных батарей в удаленных фотоэлектрических дизельных сетях. In Transition Towards 100% Renewable Energy; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2018; pp. 325-333.

4 Sitnikov S.A., Shaytor N.M., Gorpinchenko A.V., Dubkov E.A. Analysis of problems of the power system with a high proportion of solar generation. Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova. 2022. T. 25. № 2. C. 97-104.

5 Аскаров А.Б., Андреев М.В., Уфа Р.А. Анализ проблем моделирования современных энергосистем при настройке автоматических регуляторов возбуждения традиционных источников генерации. В сборнике: Электроэнергетика глазами молодежи. Материалы XII Международной научно-технической конференции.

Нижний Новгород, 2022. С. 46-49.
6 Рудник В.Е., Суворов А.А., Гусев А.С. Анализ динамической устойчивости электроэнергетической системы с солнечной электростанцией. В сборнике: Электроэнергетика глазами молодежи. Материалы XII Международной научно-технической конференции. Нижний Новгород, 2022. С. 104-105.
7 Чубаров К.М., Сенько В.В. Интернаука. Использование устройств компенсации реактивной мощности для обеспечения статической устойчивости контролируемого сечения энергосистемы. 2021. № 18-2 (194). С. 94-97.
8 Негневицкий М., Нгуен Д.Х., Пиекутовски М. Оценка риска для планирования работы энергосистемы с высоким проникновением энергии ветра. IEEE Trans. Power Syst. 2014, 30, 1359-1368. [CrossRef].
9 Разживин И.А., Суворов А.А., Андреев М.В., Рудник В.Е., Гусев А.С. Исследование влияния синтетической инерции на динамическую устойчивость электроэнергетических систем. Электричество. 2022. № 8. С. 16-26.
10 Шамис М.А., Иванов Ф.А., Васильев С.П., Законьшек Я. Новые возможности по детальному моделированию переходных процессов в больших энергосистемах. В сборнике: Современные тенденции развития цифровых систем релейной защиты и автоматики. Материалы научно-технической конференции молодых специалистов в рамках форума «Релавэкспо-2021». Чебоксары, 2021. С. 204-207.

References

1 Ruban N.Yu., Askarov A.B., Andreev M.V., Kiev A.V., Rudnik V.E. Analysis of the influence of renewable energy sources with power converters on processes in modern energy systems. Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Electrical engineering, information technology, control systems. 2020. No. 36. pp. 7-30.
2 Goldstein M.E., Kononov N.S., Shulgin A.O. Redistribution of power flows between sections of the electrical network by longitudinal compensation devices based on voltage converters. Bulletin of the South Ural State University. Series: Energy. 2019. Vol. 19. No. 3. pp. 13-22.
3 Peters D., Kilper T., Kale M., Jamal T., von Maydell K. Short-term forecasts of solar activity for predictive management of battery capacity in remote photo-electric diesel networks. In Transition Towards 100% Renewable Energy; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2018; pp. 325-333.
4 Sitnikov S.A., Shaytor N.M., Gorpinchenko A.V., Dubkov E.A. Analysis of problems of the power system with a high proportion of solar generation. Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova. 2022. T. 25. № 2. C. 97-104.
5 Askarov A.B., Andreev M.V., Ufa R.A. Analysis of the problems of modeling modern power systems when setting up automatic excitation regulators of traditional generation sources. In the collection: Electric power industry through the eyes of youth. Materials of the XII International Scientific and Technical Conference. Nizhny Novgorod, 2022. pp. 46-49.
6 Rudnik V.E., Suvorov A.A., Gusev A.S. Analysis of the dynamic stability of an electric power system with a solar power plant. In the collection: Electric power industry through the eyes of youth. Materials of the XII International Scientific and Technical Conference. Nizhny Novgorod, 2022. pp. 104-105.
7 Chubarov K.M., Senko V.V. Internauka. The use of reactive power compensation devices is necessary to ensure the static stability of the controlled section of the power system. 2021. No. 18-2 (194). pp. 94-97.
8 Negnevitsky M., Nguyen D.H., Piekutovsky M. Risk assessment for planning the operation of an energy system with high penetration of wind energy. IEEE Trans. Power Syst. 2014, 30, 1359-1368. [CrossRef].
9 Razzhivin I.A., Suvorov A.A., Andreev M.V., Rudnik V.E., Gusev A.S. Investigation of the effect of synthetic inertia on the dynamic stability of electroeneretic systems. Electricity. 2022. No. 8. pp. 16-26.
10 Shamis M.A., Ivanov F.A., Vasiliev S.P., Zakonshek Ya. New opportunities for detailed modeling of transients in large power systems. In the collection: Current trends in the development of digital relay protection and automation systems. Materials of the scientific and technical conference of young specialists within the framework of the forum "Relavexpo-2021". Cheboksary, 2021. pp. 204-207.

УДК 621.31

Проблемы нестабильности частоты и возможные способы их решения

Ю.А. Майорова[1]
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33, г. Севастополь, 299053, Россия [1]YAMayorova@sevsu.ru.,

Статья поступила 27.02.2023 г.; после доработки 28.02.2023 г.

Аннотация

Стабильное электроснабжение стало важнейшей вещью в нынешнюю эпоху технологий и автоматизации. Колебания частоты играют жизненно важную роль в нормальной работе, при этом в системе со значительным отклонением частоты может возникать ненужные отключения всей энергосистемы. С быстрым ростом технологий на основе силовых электронных преобразователей (СЭП) и огромным распространением несинхронных генераторов, современная энергосистема становится сложнее с каждым днем. В данной работе проводится комплексное исследование проблем устойчивости, возникающих в современных энергосистемах, в основном из-за интеграции технологий на основе СЭП. Для создания четкого понимания обсуждаются причины и последствия нестабильности энергосистем, а также методы управления ими.

Ключевые слова: устойчивость энергосистемы; технологии на основе силовых электронных преобразователей (РЕС); малая инерционность

Frequency instability problems and possible solutions

Y.A. Mayorova[1]
Sevastopol state university, 33, Universitetskaya st.,Sevastopol, 299053, Russia,
[1]YAMayorova@sevsu.ru

Received 27.02.2023 y.; received in final form 28.02.2023 y.

Abstract

Stable power supply has become the most important thing in the current era of technology and automation. Frequency fluctuations play a vital role in normal operation, while unnecessary shutdowns of the entire power system may occur in a system with a significant frequency deviation. With the rapid growth of technologies based on power electronic converters (PEC) and the huge proliferation of non-synchronous generators, the modern power system is becoming more complex every day. In this paper, a comprehensive study of the problems of sustainability arising in modern energy systems is carried out, mainly due to the integration of technologies based on PEC. To create a clear understanding, the causes and consequences of instability of power systems, as well as methods of managing them, are discussed. In addition, the importance of frequency stability in the power system is discussed in connection with some important events that occurred in the past.

Keywords: stability of the power system; technologies based on power electronic converters (PEC); low inertia

Введение

Производство энергии с помощью возобновляемых источников энергии (ВИЭ) имеет многочисленные преимущества для экологического, финансового, технологического, социального, медицинского и других секторов [1].

Использование ВИЭ может помочь сократить выбросы парниковых газов, генерируемых тепловыми электростанциями, и поэтому большинство стран разработали политику по расширению внедрения возобновляемых источников энергии путем интеграции новой формы ВИЭ в национальную/международную энергосистему.

Тем не менее, существует множество проблем, связанных с ВИЭ, таких как высокая стоимость, низкая надежность, плохое качество электроэнергии, а также проблемы в обслуживании и мониторинге [2]. Из-за периодического характера и зависимости от погодных и экологических факторов характеристики энергии, вырабатываемой ВИЭ, такой как энергия солнца и ветра, ненадежны и непредсказуемы, что приводит к нестабильным условиям в основной энергосистеме. Помехи, вызванные непредсказуемым производством энергии от этих ресурсов, стали проблемой в современной энергосистеме, и разработчики энергосистем находятся на переходном этапе, чтобы внедрить значительную часть ВИЭ в основную сеть [3]. Кроме того, эти ресурсы содержат СЭП в качестве основных блоков, что приводит к проблемам стабильности в энергосистеме. Если система не будет модифицирована, то наличие значительной доли ВИЭ и СЭП означает уязвимую и неустойчивую систему, что существенно повлияет на работу энергосистемы.

Проблемы устойчивости энергосистемы

В общепринятых определениях существует три типа проблем устойчивости: (а) нестабильность угла ротора, (б) нестабильность частоты и (в) нестабильность напряжения. Среди этих трех проблем, стабильность угла ротора [4] играет важную роль в синхронизации системы, которая должна быть решена в течение 3-10 с для переходного состояния и 10-20 с для устойчивого состояния, и это, таким образом, считается краткосрочной проблемой стабильности.

Эта проблема может быть адекватно решена путем применения стабилизаторов энергосистемы (PSS) или возбудителей на основе СЭП, и она может быть предотвращена путем отключения генератора.

Аналогично, стабильность частоты указывает на способность энергосистемы поддерживать свою рабочую частоту в приемлемом диапазоне, при этом нестабильность может возникнуть из-за дисбаланса спроса и предложения. Для восстановления требуется от нескольких секунд до нескольких минут, и это считается краткосрочной и/или долгосрочной проблемой стабильности. Для краткосрочной стабильности напряжения могут использоваться автоматические регуляторы напряжения (AVR), системы возбуждения и асинхронные двигатели, в то время как для долгосрочного восстановления стабильности напряжения могут использоваться соединения HVDC, регулируемые трансформаторы ответвлений и ограничители тока возбуждения генератора. Однако современные энергосистемы содержат значительное количество технологий на основе СЭП, и за последнее десятилетие они претерпели значительные изменения [5]; следовательно, появились новые элементы с точки зрения устойчивости энергосистемы: (а) устойчивость, управляемая преобразователем, и (б) резонансная устойчивость. Устойчивость, обусловленная работой преобразователя, связана с колебаниями в энергосистеме из-за явления перекрестной связи между динамическими электромеханическими устройствами и переходной природой электромагнитных сетей. С другой стороны, резонансная устойчивость учитывает периодическую и недостаточную диссипацию энергии в системе, что приводит к форме колебаний.

Причины нестабильности энергосистемы с интеграцией ВИЭ

Энергосистема с интеграцией ВИЭ может стать нестабильной по двум основным причинам:

(а) высокое проникновение энергоресурсов на основе СЭП, таких как солнечные фотоэлектрические и ветровые турбины, снижает инерционность системы; (б) ВИЭ не способны сбалансировать цепочку спрос/предложение из-за их непредсказуемости. Прогнозирование временных рядов спроса и генерации является очень сложным и медленным [6], поэтому системы могут достичь стабильности, ориентируясь только на спрос.

Высокое проникновение несинхронных генераторов с СЭП снижает инерционность системы и увеличивает потенциал нестабильной частоты в энергосистеме. Колебания частоты играют жизненно важную роль в нормальной работе, при этом система со сравнительно низкой инерцией может привести к ненужным отключениям энергосистемы [7].

Целью данной статьи было представить исчерпывающую информацию о проблемах стабильности в современных энергосистемах в результате высокого проникновения технологий на основе СЭП и непредсказуемых ВИЭ, таких как солнечная и ветровая энергия. Кроме того, целью данной статьи было представить подробный обзор проблем стабильности частоты и их потенциальных решений на основе опубликованных научных документов.

Нетрадиционные технологии управления энергосистемой

Современные энергосистемы в большей степени ориентированы на технико-экономическую эксплуатацию, наряду с экологическими ограничениями. Чтобы улучшить эксплуатационные ограничения, регулирующий орган может заменить систему управления оптимизированным подходом. Включение новой системы управления может оказаться дорогостоящим, поскольку необходимо заменить существующую систему, в то время как второй подход является довольно популярным и практичным в быстроразвивающихся системах. Однако, с ростом тенденции интеграции ВИЭ и технологий на основе ПЭС, существующие энергосистемы сталкиваются с новыми проблемами, такими как несбалансированная устойчивость частоты и низкая инерционность сети [8]; следовательно, необходимо внедрять инструменты, которые динамически отслеживают, анализируют, улучшают и визуализируют характеристики системы. Очевидно, что традиционные технологии управления не подходят для современных энергосистем, поэтому необходимо новое мышление. Концепция аккумуляторных систем хранения энергии (АСХЭ) была использована для регулирования частот энергосистемы. Самонастраивающийся регулятор был усовершенствован для повышения переходной устойчивости с помощью нечеткой логики и последовательной компенсации с тиристорным управлением. Статические компенсаторы VAR и STATCOM были использованы для улучшения устойчивости первого колебания энергосистем с помощью прерывистой стратегии управления [9]. Управление с прогнозированием модели - еще один популярный метод. На его основе был предложен подход глубокого обучения с использованием мультимодальной долговременной кратковременной памяти (M-LSTM) для определения изменяющихся во времени переменных композитного моделирования нагрузки (CLM) для исследования нагрузки в масштабах всей системы. Аналогичным образом, различные исследования представили подход динамического управления спросом (ДУС) для регулирования частоты сети.

Стабильность частоты в энергосистемах

Для надежной и эффективной работы энергосистемы различные параметры должны находиться в приемлемых пределах. Среди многочисленных параметров, стабильная частота является одним из тех, которые играют существенную роль в правильной работе энергосистемы.

Поддержка приемлемого диапазона частоты происходит благодаря регулярному вводу и выводу генерируемой энергии. Этот процесс должен быстро реагировать на динамические изменения нагрузки и устанавливать баланс спроса и предложения (или энергии). Энергосистема является гибкой с точки зрения выработки электроэнергии, которая может поддерживаться при изменении нагрузки, чтобы регулировать частоту систем. В каждой энергосистеме существует заранее определенный нормальный диапазон рабочей частоты (НРЧ) для поддержания системы.

Из-за различий в выработке электроэнергии и спросе, системы могут столкнуться с отклонением мощности, что в дальнейшем приводит к нестабильности частоты. Для правильной и эффективной работы энергосистемы, она может сбалансировать цепочку спрос/предложение путем введения, например, значительного резервуара для обширной системы или АСХЭ для небольшой системы.

Таблица 1. *Интервалы номинальной и критической частоты в энергосистемах разных стран*

Страна частота	**Номинальная (Гц)**	**Критическая частота**
Россия	49.8-50.2	48-51
Китай	49.8-50.2	48-51
Франция	49.5-50.5	47-52
Бельгия	49.5-50.5	47-52
Австрия	49.5-50.5	47.5-51.5
Австралия	49.75-50.25	47-52
Ирландия	49.8-50.2	47-52
Италия	49.1-50.1	47.5-51.5
Дания	49.9-50.1	47.5-51

Однако такого подхода может быть недостаточно для поддержания равновесного состояния в режиме реального времени; поэтому генерирующая станция должна обладать функцией гибкой генерации. Гибкая генерация может поддержать систему в обеспечении мгновенного баланса и уменьшить потенциальные причины сбоев. Кроме того, некоторые критические проблемы могут возникнуть после больших отклонений в течение короткого периода, которые должны быть решены для защиты всей энергосистемы. Следовательно, меры управления реали-

зуются на разных уровнях для поддержания и защиты всей энергосистемы: (a) первичное управление, (b) вторичное управление, (c) третичное управление и (d) аварийное управление.

В энергосистеме частота системы напрямую связана с угловой скоростью ротора [10]. Регулирование частоты в обычной энергосистеме сродни регулированию скорости вращения ротора. На первом этапе целью является поддержание скорости вращения турбины/генераторной установки (т.е. ротора) с помощью механизма регулятора, который определяет скорость вращения ротора и регулирует поток воды/пара. Небольшое отклонение в скорости и частоте может быть восстановлено путем локального изменения механической мощности. Этот метод является автоматическим и основан на падении напряжения в генераторе, который регулирует возмущение частоты в течение нескольких секунд. Это первый этап механизма регулирования частоты и работает как первая линия обороны в энергосистеме, и считается первичным методом регулирования частоты. Первичный метод регулирования частоты очень важен для восстановления, поэтому он должен соответствовать стандартам и спецификациям для начала развертывания, полной готовности, окончания развертывания, настройки спада, полного развертывания, частотных характеристик и нечувствительности контроллера.

Когда отклонение частоты увеличивается и система переходит в ненормальный режим работы, метод первичного регулирования частоты может оказаться неспособным восстановить частоту системы; следовательно, для восстановления системы требуется дополнительный метод. Второй этап восстановления частоты в энергосистеме называется методом вторичного регулирования частоты. В основном, первичный метод управления частотой используется для управления частотой в краткосрочной перспективе, в то время как вторичный используется для направления первичного, чтобы предотвратить выход частоты системы за желаемые пределы в течение длительного периода. Необходимая мощность на этом этапе поставляется как вращающимися, так и невращающимися резервными мощностями для балансировки нагрузки и частоты системы, что также называется методом управления нагрузкой и частотой.

Метод вторичного регулирования частоты осуществляет автоматическое и централизованное управление за счет использования резервных мощностей системы и восстанавливает частоту системы в течение нескольких минут. Существует два типа управления: на уровне агрегата и на уровне системы. При вторичном управлении на уровне энергоблока опорное значение регулировки нагрузки и частоты для регулятора управляется контроллером нагрузки энергоблока, в то время как в качестве метода вторичного управления на уровне системы используется система автоматического регулирования генерации (АРГ). Контроллеры уровня блока просто контролируют управляющие переменные, которые могут повлиять на работу системы и требуют первичных управляющих воздействий. С другой стороны, координация всех генераторов в энергосистеме управляется АРГ, но АРГ не отвечает за непосредственное изменение частоты системы; она просто контролирует контроллеры в инициировании первичных управляющих воздействий (как вторичный метод управления). Одной из основных задач АРГ является поддержание частоты системы путем координации и обмена мощностью с соседней зоной управления в течение определенного периода.

Ошибка управления зоной (ОУЗ), т.е. измерение фактического дисбаланса реальной мощности во взаимосвязанной энергосистеме, рассчитывается и используется для управления контроллерами с помощью некоторых обработанных сигналов управления [11]. В случае стабильной частоты системы ожидается более низкое значение ОУЗ (т.е. близкое к нулю) в каждой зоне электростанции. Время развертывания, организация контроллера, время цикла контроллера и типы контроллеров должны быть определены при вторичном управлении частотой в энергосистеме.

Третий этап метода управления частотой называется третичным методом управления частотой, который представляет собой ручной (или автоматический) метод управления, предполагающий изменение рабочего темпа выработки электроэнергии. Он проводится в ситуациях серьезного дисбаланса спроса и предложения после резких отклонений частоты, когда вторичный контроль не в состоянии восстановить систему. Он использует концепции корректировки, изменения графика и развертывания новых электрогенераторов, и для восстановления достаточного резерва вторичного регулирования может потребоваться от десятков минут до нескольких часов. Кроме того, третичное регулирование частоты можно рассматривать как вспомогательное действие для вторичного регулирования, так как оно предназначено для координации резер-

вов и облегчения реакции вторичного регулирования путем снижения значения (близкого к нулю) ОУЗ. Из-за возмущений на стороне генерации и/или спроса, если отклонение частоты выходит за допустимые пределы и методы управления не могут восстановить систему, необходимо применить резервные запасы или аварийные действия, чтобы минимизировать риск каскадных сбоев или даже отключения системы. Такая схема, как сброс нагрузки ниже частоты, используется в случаях недостаточной генерации и/или значительного снижения частоты. Аналогично, генерирующие станции отключаются в случае избыточной генерации и/или повышения частоты.

Тематические исследования

1 Отключение энергосистемы в России 23 мая 2005 года

Москва, 23 мая 2005 год. На подстанции номер 510 “Чагино” произошло небольшое возгорание одного из шести трансформаторов. Возгорание было устранено применением углекислотного огнетушителя. После этого инцидента, питание потребителей было переключено на пять оставшихся трансформаторов.

Вечером 24 мая, загорелись уже четыре трансформатора, единственный оставшийся в рабочем состоянии трансформатор пришлось отключить, так как он не мог обеспечить электроэнергией всех потребителей Юго-Восточного округа Москвы. При отключении подстанции 220 кВ, произошло отключение и самого крупного потребителя – Московского нефтеперерабатывающего завода.

Подача электроэнергии на МНПЗ была вскоре возобновлена – от ТЭЦ-22 и с подстанции “Чагино”. Отключение электроснабжения МНПЗ не стали затягивать, поскольку это могло привести к катастрофе в результате остановки насосов и перегрева.

Утром 25 мая последний трансформатор “Чагино” разрушился, не выдержав нагрузки. Система начала “сыпаться”, пошел процесс каскадного отключения. Отказала подстанция “Очаково”, была потеряна генерация ГЭС №1, всех семи ТЭЦ южной части Москвы, ГРЭС-4. Начали отключаться подмосковные подстанции на 500 кВ, электростанции, питающие центры. Цепная реакция оставила без электричества Подмосковье, Тульскую, Рязанскую и Калужскую области. Ликвидировать аварию быстро было невозможно, энергоснабжение самых жизненно значимых объектов было восстановлено только к вечеру, а полностью поднять энергосистему – только через сутки.

2 Отключение энергосистемы в Великобритании 28 мая 2008 года

Около 0,5 миллиона человек и несколько промышленных предприятий, предприятий и железных дорог в Лон-доне, Чешире, Мерсисайде и Восточной Англии пострадали от отключения электроэнергии 28 мая 2008 года. Все началось с того, что электростанция Лонганнет вышла из строя из-за технических неполадок после технического обслуживания. В течение 2 минут атомная станция Sizewell B также столкнулась с проблемами и не смогла производить электроэнергию. Еще через минуту встроенные генераторы также столкнулись с проблемами и были отключены от энергосистемы Великобритании. Рисунок 4 дает четкое представление о событиях и колебаниях частоты в результате этих сбоев. Как показано на рисунке 4, в течение 3,5 минут энергосистема потеряла около 1993 МВт мощности, которая не могла быть восстановлена за счет резервных мощностей системы; таким образом, система не смогла работать в приемлемом диапазоне частот. В результате около 546 МВт нагрузки было автоматически отключено в соответствии с мерами предосторожности.

3 Отключение энергосистемы в Северной и Восточной Индии 30 и 31 июля 2012 года

30 и 31 июля 2012 года в энергосистеме Индии произошел крупный сбой, который затронул около 700 миллионов человек из 20 штатов страны. По данным следственного комитета, Центральной комиссии по регулированию электроэнергетики (CERA), основными причинами этих отключений были системные сбои, вызванные некоторыми техническими и сезонными проблемами. Накануне индийская энергосистема столкнулась с пятью проблемами на линиях электропередач: (а) незапланированное отключение ЛЭП 400 кВ Бина-Гвалиор-Агра II, (б) отключение ЛЭП 220 кВ Кота-Бадод, (в) замыкание фазы на землю на ЛЭП 220 кВ Бинмал-Сирохи, (г) отключение ЛЭП 400 кВ Бхинмал-Канкроли и (д) аварийное отключение ЛЭП 400 кВ Зерда-Канкроли. Первое отключение произошло 30 июля и затронуло восемь штатов страны. Непосредственно перед этим инцидентом спрос в Северном регионе, по расчетам, составлял около 35 669 МВт, в то время как генерация составляла всего 32 636. В то же время, частота системы составляла 49,68 Гц. Основными причинами отключения электроэнергии 30 июля были

(а) незапланированное отключение линии 400 кВ Бина-Гвалиор-Агра II, что создало электрическое напряжение на других линиях электропередач, (б) незапланированный импорт электроэнергии в Северный регион из Восточного региона в больших объемах, (в) отсутствие надлежащего контроля и координации со стороны энергетических компаний, поскольку не было предпринято никаких действий по снижению общей мощности передачи после сбоев в работе ЛЭП, (г) остановка нескольких электростанций, и (д) колебания мощности в Восточном регионе из-за незапланированного импорта/экспорта и сбоев в работе ЛЭП.

4 Серия отключений электроэнергии в Венесуэле в 2019 году

В 2019 году в Венесуэле произошла длинная серия сбоев в работе энергосистемы и отключений электроэнергии, от которых пострадали миллионы людей, а многие даже погибли. Во время этих отключений пострадали транспорт, аэропорты, телекоммуникации, промышленность, больницы, образование, водоснабжение, продукты питания и бытовой сектор. Основными причинами этих отключений считались нерегулярное обслуживание системы, неправильное обращение с системой и нехватка технических кадров.

Первая серия общенациональных отключений началась 7 марта 2019 года, когда произошел пожар в кустарнике возле подстанции Малена на востоке Венесуэлы, где около 70-80% электроэнергии в стране вырабатывается электростанцией на плотине Гури (установленная мощность 10 235 МВт и годовая выработка 47 000 ГВтч). В результате пожара пострадала линия электропередачи 765 кВ между подстанциями Сан-Херонимо Б и Малена, что привело к перегрузке и выходу из строя альтернативных маршрутов. На восстановление системы и подачу электроэнергии ушло более 7 дней.

5 Отключения энергосистемы в Австралии

Австралия столкнулась с отключением энергосистемы 28 сентября 2016 года, когда одноцепная линия электропередачи 275 кВ и двухцепная линия электропередачи 275 кВ были повреждены торнадо. Сразу после отключения линий электропередачи наблюдалось несколько отказов в каскадной форме. После сбоев в энергосистеме Южной Австралии наблюдалось шесть провалов напряжения. Девять местных ветряных электростанций снизили производство в соответствии с их защитными функциями, что привело к снижению мощности на 456 МВт в течение 7 с (общий спрос в системе Южной Австралии в этот момент составлял 1826 МВт).

Заключение

Как мы все знаем, энергия ветра весьма непредсказуема, а солнечные электростанции вырабатывают энергию только в дневное время; таким образом, в качестве резерва должна присутствовать какая-то форма надежной электростанции. Энергосистема должна поддерживать частоту в приемлемом диапазоне; в противном случае система может выйти из строя. Когда происходит сбой, в энергосистеме возникает дисбаланс, который может привести к отключению электроэнергии, если его не устранить должным образом.

Приведенные примеры дают четкое представление о важности стабильности частоты для надежной работы энергосистемы. Среди этих пяти случаев, отключение электроэнергии в России вызвано целым комплексом проблем и факторов: изношенность оборудования и недостаток обслуживания; непрофессионализм руководства РАО ЕЭС и Мосэнерго и их неподготовленность, а также жара в это время года, следствие которой – повышенная нагрузка на электросети.

В другом случае отключение электроэнергии в Великобритании было вызвано отказом генерации; 1993 МВт генерации были потеряны в течение 3,5 минут, и система не смогла вовремя восстановить их. Системные отключения в Индии были результатом отказов линий электропередач.

Однако в случае с Австралией причиной сбоев в работе систем были стихийные бедствия.

Во всех случаях энергосистемы страдали от нестабильности. Из-за дисбаланса спроса и предложения некоторые части или вся энергосистема столкнулись с проблемами, что привело к вынужденным или скользящим отключениям. Энергосистемы Великобритании и Индии в основном питаются от обычных электрогенераторов (т.е. синхронных генераторов). Однако в Австралии значительная часть электроэнергии производится с помощью ВИЭ на основе ПЭС. По сравнению с традиционными энергосистемами, в современных энергосистемах с существенным использованием технологий на основе РЕС отмечается большое количество отключений системы. Было сделано множество заявлений о проникновении ВИЭ и их проблемах. С ростом

технологий на основе РЕС системы становятся все более сложными, поэтому в современные энергосистемы необходимо внедрять передовые технологии и соответствующие подходы.

Список литературы

1. Майорова Ю.А., Обзор гибридных фотоэлектрических и ветровых энергетических систем / Ю.А. Майорова, Е.А. Михайленко, К.П. Путилин, Н.Н. Смокталь // Энергетические установки и технологии. 2020 - Вып. 6. № 3. С. 40-49.
2. Майорова Ю.А. Метод автоматизированного мониторинга состояния фотоэлектрических модулей / Д.Ю. Котельников, П.Н. Кузнецов, Ю.А. Майорова, А.В. Пузырёв // Дневник науки. 2022. № 5 (65).
3. Смокталь Н.Н. Эволюция средств измерения в электроэнергетических системах / Н.Н. Смокталь // Электроэнергетика. Семнадцатая всероссийская (девятая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: материалы конференции. – 2022. – С. 98.
4. Титаренко О.Н. Обеспечение надежного функционирования единой энергетической системы / О.Н. Титаренко, А.М. Шестернева // Обеспечение надежного функционирования единой энергетической системы. Энергетические установки и технологии. - 2022. - Т. 8. № 1. С. 65-70.
5. Омельчук Ю.А. Проектирование и сравнительное исследование максимальной мощности точки с использованием методов моделирования для фотоэлектрических систем / Ю.А Омельчук, П. Н. Кузнецов, Х.Д. Мохаммед, Л.М. Абдали, Х.А. Исса, Ф.М. Аль-Руфаи // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность. Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. - 2020. - С. 382-386.
6. Жохов М.Н. Применение фазосмещающего устройства в условиях нестабильности частоты питающего напряжения / М.Н. Жохов // Молодые учёные России. Сборник статей IV Всероссийской научно-практической конференции. - 2020. - С. 31-34.
7. Майорова Ю.А. Добавочные потери в автономных системах электроснабжения со статическими преобразователями / Ю.А. Майорова, К.П. Путилин, А.К. Пронина // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2019. Т. 62. № 1. С. 106-112.
8. Поделенюк П.П. Идентификация гармонического состава токов и напряжений в автономной энергосистеме при нестабильной частоте тока // П.П. Поделенюк, С.Г. Черный, Т.Д. Кайнова, А.А. Жиленков // Электротехника. - 2022. - № 6. С. 51-55.
9. Скидан А.А. Перспективы применения сверхпроводящих индуктивных накопителей для повышения надежности электроснабжения / А.А. Скидан, В.В. Смирнов, В.Н. Третьяченко // Энергетические установки и технологии. - 2022. - Вып. 8. № 2. С. 35-39.
10. Сугаков В.Г. Влияние изменения параметров источника электроэнергии на выходное напряжение бестрансформаторного непосредственного преобразователя частоты / В.Г. Сугаков, Н.С. Варламов, Ю.С. Малышев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. - 2021. - № 37. С. 48-68.
11. Кирпичникова И.М. Обеспечение бесперебойного электроснабжения высокотехнологичных предприятий / И.М. Кирпичникова, С.С. Шипилов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. - 2022. - Вып. 22. № 1. С. 55-61.

References

1. Mayorova Yu.A., Mikhailenko E.A., Putilin K.P., Smoktal N.N. Review of hybrid photovoltaic and wind power systems. *Energy installations and technologies*, 2020, Vol. 6, No. 3, pp. 40-49.
2. Kotelnikov D.Yu., Kuznetsov P.N., Mayorova Yu.A., Puzyrev A.V. Method of automated monitoring of the state of photovoltaic modules. *Diary of* Science, 2022, No. 5 (65).
3. Smoktal N.N. Evolution of measuring instruments in electric power systems. *Electro-energetics. The seventeenth All-Russian (ninth International) Scientific and Technical Conference of students, postgraduates and Young Scientists: conference materials*, 2022, Vol. 6, 98 p.
4. Titarenko O.N., Shesterneva A.M. Ensuring reliable functioning of the unified energy system. *Power plants and technologies*, 2022, Vol. 8, No. 1, pp. 65-70.
5. Kucherik G.V., Omelchuk Yu.A., Mohammed H.D., Abdali L.M., Issa H.A., Al-Rufai F.M., Kuznetsov P.N. Design and comparative study of the maximum power of a point using modeling methods for photovoltaic systems. *In the collection: Environmental, industrial and energy safety - 2020. Collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference*, 2020, pp. 382-386.
6. Zhokhov M.N. application of a phase-shifting device in conditions of instability of the frequency of the supply voltage. *In the collection: Young scientists of Russia. Collection of articles of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference*, 2020, pp. 31-34.
7. Putilin K.P., Pronina A.K., Mayorova Yu.A. Additional losses in autonomous power supply systems with static converters. *News of higher educational institutions. Electromechanics*, 2019, Vol. 62, No. 1, pp. 106-112.
8. Podelenyuk P.P., Cherny S.G., Kainova T.D.,

Zhilenkov A.A. Identification of the harmonic composition of currents and voltages in an autonomous power system at an unstable current frequency. *Electrical engineering*, 2022, No. 6, pp. 51-55.
9. Skidan A.A., Smirnov V.V., Tretyachenko V.N. Prospects of using superconducting inductive storage devices to increase the reliability of electrical supply. *Power plants and technologies*, 2022, Vol. 8, No. 2, pp. 35-39.
10. Sugakov V.G., Varlamov N.S., Malyshev Yu.S. The effect of changes in the parameters of an electrical energy source on the output voltage of a transformer-free direct frequency converter. Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. *Electrical engineering, information technology, control systems*, 2021, No. 37, pp. 48-68.
11. Kirpichnikova I.M., Shipilov S.S. Ensuring uninterrupted power supply to high-tech enterprises. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Energy*, 2022, Vol. 22, No. 1, pp. 55-61.

УДК 621.8-045.79:621.314.571

Методы и средства контроля частоты и размаха вибрации

В.А. Нурзай[1], Ю.М. Быковский[2]
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33, г. Севастополь, 299053, Россия [1]Mengsk777@yandex.ru, [2]Bym-for@mail.ru.

Статья поступила 15.02.2023 г.; после доработки 17.02.2023 г.

Аннотация

В данной статье рассматриваются основные методы и средства измерения вибрации, приведены их достоинства и недостатки. Расширенный перечень литературы позволяет более детально ознакомиться с методами вибродиагностики. Основное внимание уделено бесконтактным оптическим методам. Данная обзорная работа будет интересна инженерам и ученым, занимающимся проблемами вибродиагностики производственных процессов.

Ключевые слова: метод контроля, вибрация, размах вибрации, частота, средство измерения.

Methods and means of controlling the frequency and magnitude of vibration

V.A. Nurzai[1], Yu.M. Bykovsky[2]
Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, [1]Mengsk777@yandex.ru, [2]Bym-for@mail.ru

Received 19.01.2023 y.; received in final form 19.01.2023 y.

Abstract

This article discusses the main methods and means of measuring vibration, their advantages and disadvantages. An extended list of literature allows you to become more familiar with the methods of vibration diagnostics. The focus is on non-contact optical methods. This review will be interesting to engineers and scientists involved in the problems of vibration diagnostics of production processes.

Keywords: control method, vibration, range of vibration, frequency, measuring instrument.

Введение

Измерение параметров вибрации на производстве – необходимая мера для контроля исправности механизмов, наблюдения за правильностью протекания производственных процессов и предотвращения аварий. Традиционно измеряемые параметры – частота вибрации, размах, виброскорость, характеризуют нормальный ход производственных процессов.

Выход этих параметров за уставки сигнализирует о наличии неисправности, которая может в очень короткий срок перерасти в аварию, с выходом из строя оборудования и дальнейшими, более серьезными последствиями.

Частота является одним из основных контролируемых параметров вибрации [1]. Методы и средства контроля параметров вибрации зависят от типов источников колебаний, их габаритов и геометрии, а так же от амплитудного и частотного диапазонов [2, 3]. Кратко рассмотрим имеющиеся виды контроля вибросостояния.

Методы контроля вибрации

Методы и средства контроля параметров вибрации классифицируют по контактному и

бесконтактному принципу действия [4]. Контактные методы подразумевают физический контакт датчика с вибрирующим объектом, а у бесконтактных, соответственно, такого контакта нет.

Для контроля размаха вибрации применяются кинематический и динамический методы измерения [5]. При кинематическом методе, перемещение объекта фиксируется относительно некой определенной неподвижной системы координат. Измерительные преобразователи, использующие этот метод, называются преобразователями относительной вибрации.

Суть динамического метода заключается в измерении вибрации относительно искусственной подвижной системы отсчета, скорее всего – инерционного элемента, соединенного с контролируемым объектом через упругий подвес. Приборы, работающие по этому методу, называют преобразователями абсолютной вибрации или сейсмическими системами.

В основе работы измерительных преобразователей вибрации лежат различные принципы превращения механических колебаний в электрический сигнал. Преобразователи абсолютной вибрации подразделяются на два класса: генераторные и параметрические.

Генераторные – преобразуют энергию, создаваемую при механических колебаниях, в электрическую. Параметрические – преобразуют механические колебания в изменение параметров электрической цепи, например емкости, индуктивности, активного сопротивления, частоты, сдвига фаз и т.п.

В вибродиагностике машин и механизмов используют, как правило, пьезоэлектрические и электродинамические преобразователи, относящиеся к генераторным, а также параметрические: индуктивные, емкостные и вихретоковые.

Контактные преобразователи абсолютной вибрации

Для контроля абсолютной вибрации применяются инерциальные методы, основанные на применении законов инерции [5].

Разновидностью инерциальных устройств являются: инерционные с удерживающими связями и с неудерживающими связями. Основным недостатком этих устройств является необходимость увеличения массы при измерении низких частот вибрации.

Маятниковые преобразователи позволяют получить более низкую собственную частоту, но основным их недостатком является ограничение измерений по амплитуде и частоте, а так же, большая зависимость от конструкции маятника и его крепления [6].

Пьезоэлектрические преобразователи используются для измерения параметров вибрации не вращающихся частей механизмов. Они обладают высокой точностью измерений, широким диапазоном амплитуд и частот, относительно простой конструкцией, высокой надежностью и низкой стоимостью компонентов. Простейший пьезоэлектрический преобразователь представляет собой пластину кварца или искусственной пьезокерамики.

Пьезоэлектрические датчики применяются в основном для контроля частоты вибрации при относительно большой амплитуде [7], их действие основано на использовании прямого пьезоэлектрического эффекта.

Недостаток присущ всем контактным методам – существенное влияние датчика на процесс вибрации при малой массе вибрирующего объекта.

К основным недостаткам пьезоэлектрических преобразователей также можно отнести высокое выходное сопротивление и низкую помехозащищенность линий.

Датчики параметрического типа изменяют свое сопротивление при изменении контролируемого параметра. При достижении определенного порогового значения, происходит сигнализация о выходе измеряемой величины за уставку. Параметрические датчики применяются в основном для контроля амплитуды вибрации [8].

Недостатки контактных вибропреобразователей подробно описаны в работах [9, 10], среди них выделяются следующие:

- инертность, из-за влияния массы контактного датчика на процесс вибрации;
- присутствие систематической погрешности в измерениях. Так как подразумевается непосредственный физический контакт датчика с вибрирующим объектом, может возникнуть систематическая погрешность;
- механические и температурные влияния окружающей среды на протяженные линии связи от датчиков [6];
- невозможность закрепления датчика на вращающихся частях объекта измерения или при любой другой причине вызванной конструкцией или габаритами датчика [11, 12];
- изменение чувствительности датчика, вызванное старением и износом, что требует его калибровки, а зачастую и останова агрегатов и машин для обслуживания датчика

[13];

- разброс характеристик при большом количестве однотипных датчиков [14].

Квазибесконтактные методы

Для контроля размаха вибрации может применяться метод закрепления на объекте тест-объектов, например, в виде мерного клина [15] или двойных марок, выполненных в виде парных кругов [16]. Для определения амплитуды вибрации в этом методе используется фиксация точек пересечения крайних положений тест-объекта. Каждой точке соответствует определенная амплитуда вибрации самого объекта в определенном направлении. Недостатками метода являются: малый диапазон измеряемых значений и низкая точность измерений.

Метод растровых сопряжений основан на модуляции интенсивности света, проходящего через два параллельных растра. Один из растров устанавливается неподвижно, а другой закрепляется на вибрирующем объекте. Основным недостатком данного метода является отсутствие универсальности и необходимость калибровки аппаратуры для каждого конкретного случая измерения.

Резонаторный метод заключается в применении системы отражателей, часть которых неподвижна, а часть закреплена на объекте измерений. Сигнал, проходящий через систему и модулируемый вибрацией объекта, меняет частоту резонанса в зависимости от конкретного положения вибрирующего объекта. Это позволяет с большой точностью находить амплитуду вибрации [17]. Недостаток данного метода заключается в необходимости закрепления отражателей (зеркал), что возможно, только в случае, когда их масса принципиально меньше чем у объекта измерения.

Бесконтактные измерители относительной вибрации

В связи с указанными выше недостатками контактных методов, широкое распространение получают бесконтактные методы измерения вибрации [18].

В бесконтактных измерителях используют кинематический метод измерения относительной вибрации, в качестве косвенных признаков используют оптические, радиоволновые и электромагнитные поля.

Бесконтактные методы основаны на зондировании объекта звуковыми, электромагнитными, либо оптическими волнами.

Основным достоинством бесконтактных методов измерения является отсутствие влияния на вибрирующий объект, что дает возможность измерять вибрацию: без внесения инерционности, на вращающихся объектах, под воздействием экстремальных температур, давлений, агрессивных сред, вибрацию легких поверхностей и прочих, к которым крепление датчиков невозможно.

Методы, основанные на использовании СВЧ излучения, подразделяются на интерференционные и резонаторные.

Интерференционные методы основаны на зондировании вибрирующего объекта волнами ВЧ и СВЧ диапазона. В результате интерференции отраженной и опорной волн, между излучателем и объектом образуется стоячая волна. Она модулируется в соответствии с вибрационными процессами, протекающими в исследуемом объекте.

Данный метод легко применим для измерения частоты вибрации, но для измерения амплитуды необходимо производить калибровку приборов для каждой конкретной ситуации. Данный факт существенно ограничивает применение радиоволновых датчиков при измерении размаха вибрации [17].

Метод ультразвуковой фазометрии заключается в измерении разности фаз сигнала, отраженного от поверхности вибрирующего объекта, и опорного сигнала ультразвуковых частот [19]. Основным недостатком метода является сильное затухание ультразвука в воздухе.

Среди бесконтактных наибольшее применение в вибродиагностике нашли оптические методы и средства измерения параметров вибрации, которые по способу выделения информации об измеряемом параметре делят на амплитудные и частотные. Амплитудные методы подразделяются на фотоэлектронные, дифракционные и интерференционные, а также методы с использованием пространственной модуляции светового потока.

Измерение параметров вибрации, основанное на измерении частоты излучения оптического квантового генератора, отраженного от объекта, проводят измерительными устройствами, действие которых основано на использовании эффекта Доплера и стробоскопическими методами.

Оптические методы контроля параметров вибрации основаны на использовании эффектов

отражения, дифракции, преломления, интерференции и поляризации световых волн [8, 20].

Волоконно-оптические датчики, использующие модуляцию отраженного от поверхности объекта света, позволяют получить информацию об амплитуде перемещений. Они находят свое применение не только в технике, но и медицине. Их недостатком является невозможность значительного удаления датчика от объекта и зависимость оптической части системы от параметров окружающей среды.

Метод непосредственного зрительного восприятия основан на субъективной оценке параметров вибрации человеком оператором, без использования специализированных приборов [15]. Данный метод позволяет измерять лишь амплитуду вибрации. Считается, что нижний предел измерений, производимых без применения вспомогательных устройств, составляет 5 мм.

Теневой метод предусматривает освещение объекта расходящимся световым пучком и фиксацию перемещения отбрасываемой тени. Фиксация осуществляется посредством фотодиодных линеек с последующей обработкой информации [21, 22] что позволяет еще более повысить точность измерений.

Интерференционно-оптические методы основаны на регистрации фазы светового луча, отраженного от поверхности объекта [5]. Данные методы подразделяются на интерференционно-доплеровские и интерференционно-голографические.

Принцип действия интерференционно-доплеровского метода основан на регистрации эффекта Доплера, на интерференционной картине, образованной прямым и отраженным от вибрирующего объекта световыми лучами. Одним из недостатков является большая сложность в регистрации негармонических колебаний [5].

Принцип интерференционно-голографических методов заключается в регистрации возмущений фазы фронта волны. Для реализации алгоритма метода регистрируется голограмма колебания, а потом исходное изображение восстанавливается. Методы позволяют получить информацию, как об абсолютном значении частоты колебаний, так и об изменении амплитуды либо частоты колебаний. Существенным недостатком является сложная и дорогостоящая аппаратура и невозможность измерений в реальном времени. Также предусматривается применение лазерной техники, которая оказывает вредное влияние на органы зрения обслуживающего персонала [23], что требует ношения обязательных средств индивидуальной защиты.

Метод, основанный на применении стробоскопического эффекта, применяют для определения частоты вибрации. Стробоскопические приборы по принципу работы подразделяют на механические, электронные, электроннооптические и осциллографические [2, 24]. Приборы, служащие для определения частоты периодического движения объекта, называются стробоскопическими тахометрами. К ним относятся, например, механические устройства в виде вращающихся дисков или барабанов с прорезями. Электроннооптические стробоскопические приборы основаны на использовании эффектов Поккельса и Керра для прерывания светового потока. Недостатком таких приборов является невозможность получения световых потоков большой интенсивности.

Электронные приборы являются самыми современными, они обладают большой точностью и широким диапазоном частот (рисунок 1).



Рис. 1. Стробоскопические тахометры

Фотомодуляционные методы подразделяются на: бесконтактные – в которых модуляция светового луча производится непосредственно поверхностью объекта и квазибесконтактные – где на поверхность объекта вибрации закрепляются специализированные отражающие поверхности. Применение таких поверхностей позволяет повысить некоторые отражающие свойства, унифицировать измерения или служит для удобства дальнейшей оптической обработки сигналов [25].

Все фотомодуляционные методы основаны на модуляции интенсивности светового луча или на его пространственной модуляции. Последняя производится колеблющейся поверхностью за счет изменения угла отражения, перекрытия или пересечения отражающих поверхностей, изменения плоскости поляризации отраженного

света. Данная группа методов позволяет производить скорее – качественную оценку вибрационных характеристик и позволяет говорить об их изменении.

Определение абсолютных значений требует настройки аппаратуры для каждого конкретного случая и постоянства условий окружающей среды (состояние воздуха, внешняя освещенность).

Заключение

Проведенный анализ показывает, что все методы, как контактные, так и бесконтактные находят свою нишу на сегодняшний день. Их применение обуславливается рядом факторов: сложностью формы поверхности объекта измерения, его весом, расположением, диапазоном параметров вибрации и требованиями к точности и надежности измерений.

Оптические бесконтактные системы, не оказывающие влияние на объект, и не подверженные помехам в линиях связи, способны заменить контактные методы, в случае открытой для света поверхности вибрации. Их разработка и усовершенствование активно ведется.

Список литературы

1. ГОСТ 24346-80 Вибрация. Термины и определения. Введ.01.01.81. – М.: Госстандарт СССР, 1980. – 73с.
2. Барков А.В., Баркова Н. А. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации. СПб.: Изд. центр СПбГМТУ,2004. – 152 с.
3. Барков А.В., Баркова Н.А., Азовцев А.Ю. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации. СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2000. – 185 с.
4. ГОСТ 16819-71 Приборы виброизмерительные. Термины и определения. Введ.01.01.72. – М.: Госстандарт СССР, 1971. – 21с.
5. Челомей В.Н. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. – М.: Машиностроение, 1981; т.5. Измерения и испытания. – Под ред. Генкина М.Д. 1981. – 496 с.
6. Явленский К.Н., Явленский А.К. Вибродиагностика и прогнозирование качества механических систем. – Л.: Машиностроение, 1983. – 239 с.
7. Шарапов В.М., Мусиенко М.П., Шарапова Е.В. Пьезоэлектрические датчики. М.: Техносфера, 2006. – 632 с.
8. Клюев В.Б. Приборы и системы для измерения вибрации шума и удара: справочник. – М.: Машиностроение, 1978. - т.1. – 448 с.
9. ГОСТ 12.4.012-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрация. Средства измерения и контроля вибрации на рабочих местах. Технические требования. Введ.01.01.84. – М.: Госстандарт СССР, 1983. – 9с.
10. Пановко Г.Я. Лекции по основам теории вибрационных машин и технологий: учебное пособие для вузов / Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. – М.: Изд-во МГТУ, 2008. – 192 с.
11. ГОСТ ИСО 2954-97 Вибрация машин с возвратно поступательным и вращательным движением. Введ.01.09.99. – М.: Госстандарт России, 1998. – 10с.
12. ГОСТ ИСО 8041-2006. Вибрация. Воздействие вибрации на человека. Средства измерений / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации; Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем. – Офиц. изд. – Взамен ГОСТ 12.4.012-83. Введ. 2008-07-01. – М.: Стандартинформ, 2008. – 35 с.
13. ГОСТ Р ИСО 10816-4-99 Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 4. Газотурбинные установки. Введ. 01.07.2000. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 13 с.
14. ГОСТ ИСО 7919/3-2002 Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерения вибрации на вращающихся валах. Промышленные машинные комплексы. Введ. 01.04.2008. – М.: Стандартинформ, 2007. – 11 с.
15. Иориш Ю.М. Виброметрия. Измерение вибрации и ударов. Общая теория, методы и приборы. – М.:Машгиз, 1963. стр. 468 – 469.
16. Rule E., Suellentrop F.J., Perls T.A. Optical method for measurement of vibration amplitudes, «Rev. Scientif. Instrum.» №1, 1959, 40-41pp.
17. Викторов В.А., Лункин Б.В., Совлуков А.С. Радиоволновые измерения параметров технологических процессов. – М.: Энергоиздат. – 1989. – С. 124-162.
18. Балицкий Ф.Я., Барков А.В., Баркова Н.А. Неразрушающий контроль: Справочник Т.7: В 2 кн. Кн 2: Вибродиагностика, - М.: Машиностроение, 2005. – 829 с
19. Гордеев Б.А., Новожилов М.В., Образцов Д.И. Применение ультразвукового фазового метода в вибродиагностике легковых автомобилей // Метрология. 1990. №6. С. 33-36.
20. Сойфер В.А. Дифракционная компьютерная оптика / Д.Л. Головашкин [и др.]; - М.: Физматлит, 2007. – 736 с.
21. Мироненко А.В. Фотоэлектрические измерительные системы. – М.: Энергия, 1967. – 360 с.
22. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.
23. Графкина М.В. Охрана труда и производственная безопасность: учеб. Для учреждений сред. проф. образования по техн. специальностям. – М.: Проспект,2008. – 421 с.
24. Бойт, Каус. Цифровая электроника: пер. с нем./

К. Бойт. – М.: Техносфера, 2007. – 471 с.
25. Юденков А.В. Контроль частоты и размаха вибрации по изменению контраста в изображении штрихов пирамидальной миры [Текст]: дис.....канд. техн. наук:05.11.13, защищена 29.12.2009 / Юденков Андрей Владимирович. – Барнаул, 2009. – 95с.

References

1. GOST 24346-80 Vibratsiya. Terminy i opredeleniya. [Vibration. Terms and definitions.] Enacted 01.01.81. – Moscow, Gosstandart USSR Publ., 1980, 73p.
2. Barkov A.V., Barkova N.A. Vibratsionnaya diagnostika mashin i oborudovaniya. Analiz vibratsii. [Vibration diagnostics of machinery and equipment. Vibration analysis.]. SPb., SPbSMTU Publ., 2004. 152 p.
3. Barkov A.V., Barkova N.A., Azovtsev A.Yu. Monitoring i diagnostika rotornykh mashin po vibratsii [Monitoring and diagnostics of rotary machines by vibration] SPb., SPbSMTU Publ., 2000, 185 p.
4. GOST 16819-71 Pribory vibroizmeritel'nye. Terminy i opredeleniya. [Vibration measuring devices. Terms and Definitions.] Enacted 01.01.72. – Moscow, Gosstandart USSR Publ., 1971, 21p.
5. Chelomey V.N. Vibratsii v tekhnike: Spravochnik [Vibrations in Engineering: Handbook] in 6 V. – Moscow, Mashinostroenie Publ., 1981; V.5. Izmereniya i ispytaniya. [Measurements and tests] – Edited by Genkina M.D., 1981, 496 p.
6. Yavlenskiy K.N., Yavlenskiy A.K. Vibrodiagnostika i prognozirovanie kachestva mekhanicheskikh sistem [Vibrodiagnostics and prediction of the quality of mechanical systems] – SPb., Mashinostroenie Publ., 1983, 239 s.
7. Sharapov V.M., Musienko M.P., Sharapova E.V. P'ezoelektricheskie datchiki [Piezoelectric sensors] – Moscow, Tekhnosfera Publ., 2006, 632 p.
8. Klyuev V.B. Pribory i sistemy dlya izmereniya vibratsii shuma i udara: spravochnik [Devices and systems for measuring vibration of noise and shock: handbook] – Moscow, Mashinostroenie Publ., 1978, V.1., 448 p.
9. GOST 12.4.012-83 Sistema standartov bezopasnosti truda (SSBT). Vibratsiya. Sredstva izmereniya i kontrolya vibratsii na rabochikh mestakh. Tekhnicheskie trebovaniya. [Working safety standards system (WSSS). Vibration. Means of measuring and controlling vibration in the workplace. Technical requirements.] Enacted 01.01.84. – Moscow, Gosstandart USSR Publ., 1983, 9p.
10. Panovko G.Ya. Lektsii po osnovam teorii vibratsionnykh mashin i tekhnologiy: uchebnoe posobie dlya vuzov [Lectures on the basics of the theory of vibration machines and technologies: a textbook for universities] – Moscow, MSTU Publ., 2008, 192 p.
11. GOST ISO 2954-97 Vibratsiya mashin s vozvratno postupatel'nym i vrashchatel'nym dvizheniem [Vibration of machines with reciprocating and rotational motion] Enacted 01.09.99. – Moscow, Gosstandart Rossii Publ., 1998, 10p.
12. GOST ISO 8041-2006. Vibratsiya. Vozdeystvie vibratsii na cheloveka. Sredstva izmereniy [Vibration. The effects of vibration on humans. Measuring Instruments] Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification; Research Center for Control and Diagnostics of Technical Systems. Official publication., Instead GOST 12.4.012-83. Enacted 2008-07-01. – Moscow, Standartinform Publ., 2008, 35 p.
13. GOST R ISO 10816-4-99 Vibratsiya. Kontrol' sostoyaniya mashin po rezul'tatam izmereniy vibratsii na nevrashchayushchikhsya chastyakh. Chast' 4. Gazoturbinnye ustanovki. [Vibration. Monitoring the condition of machines according to the results of vibration measurements on non-rotating parts. Part 4. Gas turbine units.] Enacted 01.07.2000. – Moscow, IPK Izdatel'stvo standartov Publ., 2000, 13 p.
14. GOST ISO 7919/3-2002 Vibratsiya. Kontrol' sostoyaniya mashin po rezul'tatam izmereniya vibratsii na vrashchayushchikhsya valakh. Promyshlennye mashinnye kompleksy. [Vibration. Monitoring the condition of machines according to the results of measuring vibration on rotating shafts. Industrial machine complexes.] Enacted 01.04.2008. – Moscow, Standartinform Publ., 2007, 11 p.
15. Iorish Yu.M. Vibrometriya. Izmerenie vibratsii i udarov. Obshchaya teoriya, metody i pribory. [Vibrometry. Measure vibration and shock. General theory, methods and instruments.] – Moscow, Mashgiz Publ., 1963, 468 – 469 pp.
16. Rule E., Suellentrop F.J., Perls T.A. Optical method for measurement of vibration amplitudes, «Rev. Scientif. Instrum.» №1, 1959, 40-41pp.
17. Viktorov V.A., Lunkin B.V., Sovlukov A.S. Radiovolnovye izmereniya parametrov tekhnologicheskikh protsessov [Radio wave measurements of process parameters] – Moscow, Energoizdat Publ., 1989, 124-162 pp.
18. Balitskiy F.Ya., Barkov A.V., Barkova N.A. Nerazrushayushchiy kontrol': Spravochnik [Non-Destructive Testing: Reference] V.7., In 2 books. Book 2: Vibrodiagnostika [Vibrodiagnostics], - Moscow, Mashinostroenie Publ., 2005, 829 p.
19. Gordeev B.A., Novozhilov M.V., Obraztsov D.I. Primenenie ul'trazvukovogo fazovogo metoda v vibrodiagnostike legkovykh avtomobiley [Application of the ultrasonic phase method in the vibration diagnostics of cars] – Metrologiya Publ. №6, 1990, 33-36pp.
20. Soyfer V.A. Difraktsionnaya komp'yuternaya optika [Diffraction computer optics], Edited by D.L. Golovashkin [and others]; - Moscow, Fizmatlit Publ., 2007, 736 p.
21. Mironenko A.V. Fotoelektricheskie izmeritel'nye

sistemy. [Photoelectric measuring systems.] – Moscow, Energiya Publ., 1967, 360 p.
22. Sergienko A.B. Tsifrovaya obrabotka signalov [Digital signal processing] – SPb., Piter Publ., 2002, 608 p.
23. Grafkina M.V. Okhrana truda i proizvodstvennaya bezopasnost': uchebnik. [Labor protection and industrial safety: a textbook.] For institutions of secondary vocational education in technical specialties. – Moscow, Prospekt Publ., 2008, 421 p.
24. Boyt, Kaus. Tsifrovaya elektronika [Digital electronics] Translation from German – K. Boyt. – Moscow, Tekhnosfera Publ., 2007, 471 p.
25. Yudenkov A.V. Kontrol' chastoty i razmakha vibratsii po izmeneniyu kontrasta v izobrazhenii shtrikhov piramidal'noy miry. [Monitoring the frequency and magnitude of vibration by changing the contrast in the image of the strokes of the pyramidal tuning table]. PhD thesis – 05.11.13, Protected 29.12.2009., Yudenkov Andrey Vladimirovich. – Barnaul, 2009, 95p.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

УДК 621.039.5:699.841:624.042.8

Разработка метода классификации огибающей доплеровского сигнала

Е.А. Контылева[1], И.В. Авдеев
[1]ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, eakontyleva@sevsu.ru

Статья поступила 02.02.2023 г.; после доработки 06.02.2023 г.

Аннотация

В статье рассматриваются частотно-временные параметры отраженных от объектов доплеровских сигналов, формирование признаков пространства, для практического применения в задачах распознавания и классификации сигналов на основе отличительных признаков и свойств.

Ключевые слова: преобразование Фурье, вейвлет-преобразование, вейвлет, огибающая.

Development of a method for classifying the envelope of a Doppler signal

E.A. Kontyleva[1], I.V. Avdeev[1]
[1]Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, eakontyleva@sevsu.ru

Received 02.02.2023 y.; received in final form 06.02.2023 y.

Abstract

The article discusses the frequency-time parameters of Doppler signals reflected from objects, the formation of space features, for practical use in problems of recognition and classification of signals based on distinctive features and properties.

Keywords: Fourier transform, wavelet transform, wavelet, envelope.

Введение

Автоматическое обнаружение и распознавания объектов применяется во множестве отраслей, в частности в системах безопасности. Для этих задач применяют технологии, основанные на использовании оптических и радиотехнических сигналах.

Большое количество разработок построенных на основе радиотехнических сигналов, использующих эффект Доплера, посвящено факту обнаружения или оценки скорости (направления) и размера объекта, а так же расстояния.

При этом практически не решена задача классификации движения объектов на основе выделения их уникальных признаков.

Автоматическое обнаружение и распознавания объектов в условиях отсутствия визуального контакта – важный способ защиты информации от преднамеренного или случайного несанкционированного доступа и нанесения вреда нормальному процессу документооборота и обмена данными в системе, а также хищения, изменения и уничтожения информации. Основная задача защиты информации заключается в усложнении или невозможности проникновения, как вирусов, так и злоумышленника к секретным данным

(информации и т.д.).

149-ФЗ — основной закон об информации в Российской Федерации. Он определяет ключевые термины, и определяет, что информацией являются любые данные, сведения и сообщения, представляемые в различной форме. В законе говорится, что хранитель информации обязан ее защищать, исключить доступ третьих лиц, разграничить доступ к информации во время обмена данными. А также 149-ФЗ прописывает основные требования к защите информации и ответственность за нарушения при работе с ней.

Постановка задачи

В данной статье рассматривается разработка метода классификации огибающей доплеровского сигнала для возможной идентификации человека без визуального контакта с ним.

Для решения данной задачи за основу был взят феномен микро-Доплера и проанализированы всевозможные математические методы (преобразование Фурье, оконное преобразование Фурье, вейвлет преобразования и др.) обработки радиосигналов

Феноменом микро-Доплера называется дополнительная модуляция отраженного сигнала, вызываемая любыми движениями в виде вибрации, вращения и т.д. частей объекта, помимо основного движения [10].

По теории микро-движения цели или ее части вызывают частотную модуляцию огибающей отраженного РЛС. Она является боковой полосой от доплеровского сдвига частоты и вызвана основной несущей.

С годами снижение цен на сверхвысокочастотные генераторы, их размер и комплектующие, поспособствовало росту сферы применения радаров. Простых измерений расстояния и скорости уже не хватает. Динамика движения пешеходов, автомобилей, самолетов и спутников сложно форменная и ее распознавание предполагает выделение в спектре отраженного сигнала боковых лепестков, вызванных другими движениями помимо основного, и ускоренным движением частей цели [4].

Отличительная черта доплеровского эффекта заключается в увеличение частоты отраженного сигнала при приближении объекта ровно так же, как и при его удалении. От направления движения всецело зависит смещение частоты, но увеличение частоты напрямую зависит от частотного сдвига. Каждое движение создает комплекс доплеровских сдвигов, применяемых для сортировки (классификации) огибающей доплеровского сигнала.

Преобразование Фурье представляет сигнал в частотной области, то есть сумму гармонических колебаний. С его помощью можно получить уровень и начальную фазу гармонического колебания в зависимости от частоты.

Для обработки спектра сигнала используем дискретное преобразование Фурье, рассматриваемое дискретной последовательностью по частоте [12].

Однако, как показало исследование, данное преобразование не подходит для получения данных об особенностях сигнала, ограниченного по времени в связи с тем, что колебания гармоник периодические (не имеющие начала и конца), неизменны во времени [5]. Для получения этих данных применяем оконное преобразование Фурье, которое сможет выделить интересующий отрезок сигнала с помощью оконной функции и вычислить преобразование Фурье для этого отрезка.

Подобным образом выполняем и дискретное ОПФ. Из отсчетного «сигнального» вектора выбираем звенья, каждое множим на заданную оконную функцию, и выполняем дискретное ОПФ каждого кусочка (участка).

Оконная функция обеспечивает плавное уменьшение сигнала на концах выделенного оконном участка, для исключения эффекта растекания спектра при использованиипреобразования Фурье. Окно особой формы уменьшает блок весовых показателей в конце и начале извлечения сигнала, но должно быть достаточно широким, чтобы не искажать форму и спектр.

Вейвлет в переводе означает маленькая волна. Основная особенность вейвлет-преобразования – функциональное разложение сигнала в пространственно-временных областях, для более качественного определения особенностей сигнала [11]. Для вейвлет-анализа имманентна концепция scale (масштаб), а графическое отображение носит название скалограмма [6]. Скалограммой называется двумерное отображение одномерных данных (частотно-временная функция).

Вейвлет должен быть размещен в частотной области (иметь небольшой спектр).

Сигнал в вейвлет-преобразовании отображен в масштабно-временном пространстве, а в ОПФ – в частотно-временном. Временной масштаб вейвлет-преобразования аффилированный с частотой в ОПФ.

Проанализируем другие виды вейвлет-преобразований:

1. Дискретное вейвлет-преобразования. Одним из главных отличий от непрерывного вейвлет-преобразования является деление радиосигнала по ортонормированному (норма каждого вектора этого базиса равна единице) базису (образующегося изменением размера вейвлета), аналогично разложению в тригонометрический ряд, складывающийся из разночастотных функций. К достоинству дискретного вейвлет-преобразования запишем ортогональность размерных функций. Эта особенность используется при аликвотно-размерной оценке, где деление радиосигнала на одном размерном базисе не отвечает требованиям. Сигнал представляется в виде линейной комбинации функций. Вейвлеты образуют базис ортонормированных функций [7]. При попарном совпадении коэффициентов скалярное произведение двух ортонормированных функций равно единице, в иных случаях - нулю.

В состав дискретного вейвлет-преобразования входит размерная функция и комплекс смещенных разно-размерных функций.

В противовес непрерывным вейвлетам, размерная функция обязана быть ортоганальной остальным смещённым размерным функциям на том же размере, а интеграл равен единице.

2. Материнское вейвлет-преобразование. В задаче распознавания признаков движущихся объектов требуется правильно выбрать материнский вейвлет для анализа огибающей радиолокационных сигналов. Для этого анализируем распространенные материнские вейвлеты.

Главная характеристика материнского вейвлета — частотно-временное разрешение, т.е. избирательность частотных и временных компонент исследуемого сигнала.

Основные параметры материнских вейвлетов:

1) оптимальный размер временного окна материнского вейвлета;
2) оптимальный размер частотного окна материнского вейвлета;
3) оптимальная площадь частотно-временного окна материнского вейвлета.

Проведя анализ публикаций и исследований, выделяем оптимальные материнские вейвлеты вейвлет-преобразования, а также делим их на три группы:

1) непрерывные;
2) дискретные;
3) комплексные.

В изучении определения отличительных свойств (признаков) движения был взят материнский вейвлет Морле. Вейвлет имеет параметр, характеризующий размер, основную частоту и воздействующий на ширину окна, который дает возможность изменять селективность базиса.

Вейвлеты Морле успешно используются в решениях задач по определению речевых сигналов, поскольку заданы гармонической функцией комплексной степенной зависимости (экспоненты) измененной функцией распределения Гаусса.

Проведенные исследования

Для получения информации о сигнале и его дальнейшей обработки было собрано устройство (конструкция) (см. рис.1), состоящее из нескольких частей.

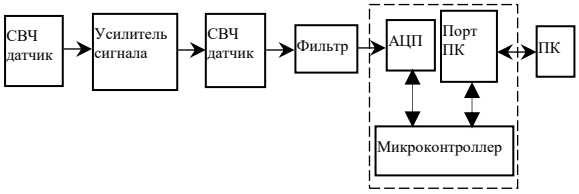


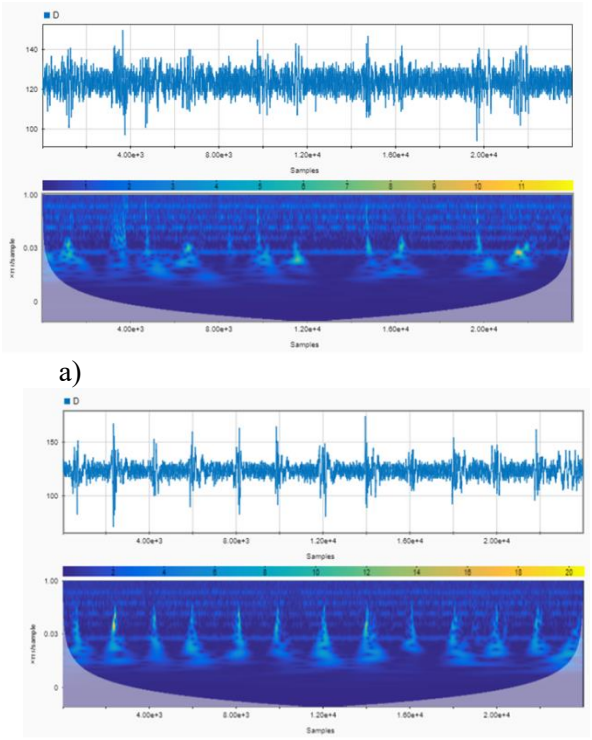
Рис. 1. Структурная схема конструкции.

С помощью анализа литературы и проведенных исследований был разработан метод классификации признаков, который разделяется на алгоритмы обучения и присвоения класса.

Сравним каждый алгоритм. В алгоритм присвоения класса входят параметры алгоритма обучения и его результаты работы, а в алгоритме обучения можно определить количество энергии сигнала на частотном диапазоне нужным масштабом окна вейвлет-функции. Алгоритм присвоения класса содержит параметр, представляющий данные о классовой границе, а алгоритм обучения контролирует вейвлет-пакетную декомпозицию, на каждом уровне которой формируется вектор назначений. В алгоритме присвоения происходит построчное сравнение рассчитанного вектора с параметрами матрицы, а в алгоритме обучения – в заранее заданной матрице с нулевыми значениями вектор назначений заполняет свой столбец. В алгоритме присвоения в известный коэффициент входит информация о движении записанная в конкретном столбце. В алгоритме обучения полученную матрицу с набором векторов сохраняем отдельным файлом, а в алгоритме присвоения класса сформированной матрице совпадений присваиваем класс движений.

Проведен анализ и комплексный подбор методов спектральной обработки сигнала. В ре-

зультате исследования выяснилось, что преобразование Фурье не подходит для поставленной задачи, поэтому были использованы вейвлет-функции. Установлено, что непрерывное вейвлет-разложение на одном уровне масштаба приводит к потерям сигналов с низкочастотными компонентами, являющихся основой РЛС. Способ вейвлет-пакетной декомпозиции сигнала показал лучшие результаты, и появилась возможность визуально различать разные движения.



а)

б)

Рис. 2. Скалограмма для огибающей на частоте 4.1 Гц (несущая 24ГГц):
а) движение пальцами; б) движение руки

Заключение

Изучение и анализ полученных данных привели к определению метода классификации огибающей доплеровского сигнала для возможной идентификации человека без визуального контакта с ним. Способ вейвлет-пакетной декомпозиции сигнала показал возможность визуально различать различные движения.

Список литературы

1. Moeness G. Amin. Radar for indoor monitoring [Текст] // Moeness G.Amin. – New York: Taylor & Francis Group – 2018. – 381 P. 21.
2. Victor C. Chen. Micro-Dopler Effect in Radar: phenomenon, model, andsimulation study [Текст] / Victor C. Chen, Fayin Li, Shen-Shyang Ho, Harry Wechsler // IEEE Transaction on aerospace and electronic sistems. – 2006. – Vol. 42, № 1. – P.1-19.
3. Boulic, R. A global human walking model with real-time kinematic personification [Текст] / R.N. Boulic, N. Thalmann, D. Thalmann // The visual computer. – 1990. – Vol. 6, № 6. – P. 344–358.
4. Травин, М.Г. Вейвлеты для инженеров [Текст] // М.Г. Травин, В.М. Терешко, Г.А. Травин – Белгород: Политерра – 2007. – С. 156-160
5. .Цуканов Ю. В. Научно – техническое руководство по цифровойобработке сигналов // Научно – технический центр по электронным компонентам и современным технологиям; «АВТЭКС» Санкт – Петербург, 2013. – 12 с. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. – URL: http://www.autex.spb.ru (дата обращения: 15.04.2019).
6. Одиноченко Н.М. Использование алгоритмов быстрого преобразования Фурье и адаптивного взвешивания при обработке радиолокационных сигналов
7. Сайфуллин, Р.Т. Вейвлет-анализ в обработке сигналов аналитических приборов [Текст] // Р.Т. Сайфуллин, А.А. Наумов / Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т.1, №1(2). – С. 2-5.
8. Асшатов, Р.А. Обоснование выбора материнского вейвлета непрерывного вейвлет-преобразования для анализа речевых сигналов [Текст] / Р.А. Асшатов, А.Н Голубинский. // Наука и современность: сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции: Новосибирк, – 2012. – №2. – С. 3-6.
9. Яковлев, А.Н. Введение в вейвлет-преобразования [Текст] // А.Н. Яковлев / Учебное пособие: Новосибирск, – 2003. – С. 11-14.
10. Астахов Н. В. и др. Частотно-временной анализ нестационарных сигналов методами вейвлет-преобразования и оконного преобразования Фурье //Радиотехника. – 2019. – Т. 83. – №. 6. – С. 109-112.
11. Крючков И. В. и др. Пространственно-спектральная обработка в mimo рлс малой дальности с цифровым обзором по углу места //Радиолокация и радиосвязь. – 2020. – С. 119-123.
12. Кошелев, В. И. "Методы и алгоритмы цифрового спектрального анализа сигналов." (2021): 144-144.

References

1. Moeness G. Amin. Radar for monitoring premises [Text] // Moeness G. Amin. – New York: Taylor & Francis Group – 2018. - 381 P. 21.
2. Victor K. Chen. The Microdopler effect in radar: phenomenon, model and simulation study [Text] / Victor K. Chen, Fayin Li, Shen-Shiang Ho, Harry

Wexler // IEEE Transaction on aerospace and electronic systems. – 2006. – Vol. 42, No. 1. – pp. 1-19.
3. Bulich, R. Global Model walking a person with kinematic personification in real time [Text] / R.N. Bulich, N. Talmann, D. Talmann // Visual computer. – 1990. – Vol. 6, No. 6. – pp. 344-358.
4. Travin, M.G. Wavelets for engineers [Text] // M.G. Travin, V.M. Tereshko, G.A. Travin – Bel-gorod: Polyterra – 2007. – pp. 156-160.
5. Tsukanov Yu. V. Scientific and technical manual on digital signal processing // Scientific and Technical Center for Electronic Components and Modern Technologies; "AUTEX" St. Petersburg, 2013. – 12 p. [electronic resource]. Systems. Requirements: Adobe Acrobat Reader. – URL: http://www.autex.spb.ru (date of publication: 15.04.2019).
6. Odinenko N.M. The use of algorithms for fast Fourier transform and adaptive weighting in the processing of radar signals
7. Sayfullin, R.T. Wavelet analysis in signal processing of analytical instruments [Text] // R.T. Sayfullin, A.A. Naumov / Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. – 2016. – Vol.1, No. 1(2). – P. 2-5.
8. Asshatov, R.A. Substantiation of the choice of a material wavelet of continuous wavelet transformation for the analysis of speech signals [Text] / R.A. Asshatov, A.N. Golubinsky. // Science and Modernity: collection of materials of the XIX International Scientific and Practical Conference: Novosibirsk, - 2012. – No.2. – pp. 3-6.
9. Yakovlev, A.N. Introduction to wavelet transformations [Text] // A.N. Yakovlev / Textbook: Novosibirsk, - 2003. – pp. 11-14.
10. Astakhov N. V. et al. Time-frequency analysis of non-stationary signals by methods of wavelet transform and window Fourier transform //Radio engineering. – 2019. – Vol. 83. – No. 6. – pp. 109-112.
11. Kryuchkov I. V. et al. Spatial-spectral processing in mimo of a short-range radar with a digital view of the angle of the place //Radar and radio communication. – 2020. – pp. 119-123.
12. Koshelev, V. I. "Methods and algorithms of digital spectral analysis of signals." (2021): 144-144.

УДК 621.039.5:699.841:624.042.8

Информационная безопасность детей и подростков в сети интернет

Е.А. Контылева[1], А.В. Сагалаев[1]
[1]ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, eakontyleva@sevsu.ru

Статья поступила 02.02.2023 г.; после доработки 07.02.2023 г.

Аннотация

В статье рассматриваются проблема информационной безопасности детей и подростков при использовании сети Интернет, способы и средства по созданию безопасной информационно-образовательной среды для обеспечения, укрепления и сохранения здоровья и разностороннего развития подрастающего поколения.

Ключевые слова: информационная безопасность детей и подростков, информационная безопасность, Интернет, интернет-угрозы.

Information security of children and adolescents on the internet

E.A. Kontyleva[1], A.V. Sagalaev[1]
[1]Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, eakontyleva@sevsu.ru

Received 02.02.2023 y.; received in final form 07.02.2023 y.

Abstract

The article deals with the problem of information security of children and adolescents using the Internet, methods and means to create a safe information and educational environment to ensure, strengthen and preserve the health and versatile development of the younger generation.

Keywords: information security of children and adolescents, information security, Internet, Internet threats.

Введение

Потребность в информации – одна из естественных потребностей человека. Она формируется с рождения ребенка и до самой старости. Любая информация оказывает на человека различное воздействие, которое может быть не только полезным, но и губительным [4].

В настоящее время информационное общество и информационная безопасность - это неотъемлемая составная часть любой организации. В современном мире остро стоит проблема того, как защитить детей и подростков от угроз исходящих, в том числе, и с Интернета.

В последнее время начался значительный рост детей и подростков, использующих персональный компьютер или электронный гаджет в целях обучения или игры [1]. С помощью этих устройств, в ущерб чтению книг и поиску информации в бумажных источниках, дети хотят очень быстро получать информацию для своего развития и обучения в интернете через открытые цифровые библиотеки, выставки, всевозможные образовательные сайты, но, к сожалению, они уязвимы для мошенников и сайтов криминального направления [3], [5], [6].

Принятые 28 августа 2014 года Правительством России Концепция развития дополнительного образования детей и Федеральный закон Российской Федерации от 29 декабря 2010 г. № 436-ФЗ «О защите детей от информации, причиняющей вред их здоровью и развитию» стали одними из важнейших законодательных актов по обеспечению безопасности детей и подростков в современном информационном мире. Основная суть заключается в том, что впервые выделены

правовые основы государственного регулирования деятельности по обороту информационной продукции в интернете, которая причиняет вред здоровью и (или) развитию детей, и устанавливаются ограничения по осуществлению данной деятельности [2]. 5 декабря 2016 г. Указом Президента Российской Федерации № 646 утверждена «Доктрина информационной безопасности Российской Федерации». Это еще один важный шаг Российской Федерации по защите граждан, в том числе детей и подростков в информационной сфере. В Доктрине отмечена угроза по наращиванию информационного воздействия на население России для подрыва традиционных ценностей. Эта деятельность наносит вред психике, подрывает национальные интересы государства и должна пресекаться соответствующими структурами.

28 августа 2014 года Правительство России приняло Концепцию развития дополнительного образования детей.

Постановка задачи

Проведение исследований в области использования интернета детьми и подростками, анализ и способы борьбы с зависимостью и влиянием негативного контента на детскую психику. Разработка способов и средств по обеспечению информационной безопасности детей и подростков.

Согласно Федерального закона от 27.06.2006 №149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» информационная безопасность – комплекс мер по защите информации от несанкционированного доступа, использования, раскрытия, изменения или уничтожения информации.

Применительно к проблеме обеспечения безопасности детей и подростков, информационная безопасность – это элемент защищенности подрастающего поколения, при котором риск, связанный с причинением информацией, в том числе распространенной в сети Интернет, вреда для здоровья и разностороннего развития отсутствует [8].

В последнее десятилетие резко выросло количество случаев детского отравления психотропными, наркотическими, алкогольными и курительными веществами. На их снижение не могут повлиять ни родители, ни педагоги. Процент детских травм на заброшенных постройках, дорогах и при управлении транспортом также растет. Не стали исключением и использования детей в порнографии, всевозможная информация об однополых браках, использование детей в экстремистских и террористических актах [3]. Интернет из средства познания и освоения внешнего мира становится средством деструктивного влияния. Необходимо комплексное сотрудничество учителей, родителей и детей, контролирующих пребывание и поведение в сети Интернет.

Интернет-угрозы – в том числе, это вредоносные программы, которые представляют опасность во время работы в интернете.

Выделим главные интернет-угрозы, с которыми может столкнуться ребенок: 1. Заражение ПК вредоносными программами при скачивании файлов или просмотре страниц в интернете, что влечет за собой не только сбой работы техники, но и возможное хищение денежных средств и информации; 2. Нарушение нормального развития и нравственных ценностей детей и подростков в следствии деструктивного влияния; 3. Киберзависимость [1].

Рассмотрим подробнее вторую интернет-угрозу.

В последнее десятилетие Интернет активно вытесняет институты социализации, образования и просвещения, что приводит к отстранению родителей от обязанностей по развитию и воспитанию подрастающего поколения [10]. Технический прогресс развивается с огромной скоростью и имеет как положительные, так и отрицательные стороны.

Еще несколько десятилетий назад информационное окружение детей и подростков с легкостью контролировалось взрослыми. Родители без проблем могли отследить и проконтролировать, что ребенок смотрит по телевизору, что читает, круг его общения и интересов, запрещали общаться с незнакомыми и быть в компаниях «плохих» сверстников, соблюдался график ночного сна. В школах и садах был более жесткий контроль над детьми и не все школы и семьи имели компьютеры и гаджеты. Родителям и учителям доверяли, с ними советовались и делились информацией.

Таким образом, данная проблема решалась сама собой. И с ростом количества гаджетов и ПК эта техника стала появляться в каждом доме и у каждого ребенка, а с ними и интернет, который все труднее контролировать. С одной стороны, это облегчило жизнь, а с другой стороны возникли серьезные изменения в информационном окружении ребенка, не умеющего разделять информацию на полезную и вредную, у которого не сформирована своя точка зрения; он регистрируется в различных социальных сетях, на

сайтах знакомств, в онлайн-играх, подписывается на всевозможных блогеров и т.д.

Выделим потенциально опасные моменты в цифровом взаимодействии:

1. Отсутствие родительского и преподавательского авторитета. Ребенок в интернете может просматривать любую информацию (без ограничения по возрасту и отсутствию запретов) начиная от читабельной и заканчивая фото и видео. Т.е., все или почти все берется из интернета, а не из семьи и учителей, которые более правильно донесут информацию. Интернет - это заманчивый виртуальный мир, в котором можно не только заказать необходимые товары и услуги и заработать деньги, но и познакомиться с различными людьми, среди которых есть лица, пропагандирующие насилие, экстремизм, алкоголь, курение, наркотики, экстремальные и опасные для жизни трюки и мошенники. Все это можно донести до детей через фото, видео, музыку и форумы, где виртуальные друзья будут рассказывать о том, насколько они стали крутыми и модными благодаря тому или иному плохому поведению или поступку. Задача родителей – обеспечить контроль деятельности и контактов подрастающего поколения.

Как показывает практика последних лет, забота о информационной безопасности ребенка состоит не столько в контроле интернет страниц, сколько в желании обеспечить физическую безопасность, оградив ребенка от живого общения с помощью компьютера, не задумываясь о том, что же делает ребенок в интернете. Когда маленький человек начинает думать, что у него есть друзья в сети, которые его никогда не отругают и всегда поддержат, у них можно узнать обо всем, о чем не расскажут родители, тогда теряется связь и доверительные отношения между взрослыми и детьми.

2. Игромания и онлайн-игры. Согласно СанПиНа 2.2.2./2/4/1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы», детям до 3 лет не разрешается пользоваться ПК, в связи со слишком высокой эмоциональной нагрузкой, от 3 до 7 лет нахождение у экрана не более 15 минут в день, для школьников непрерывная длительность занятия на компьютере не должна превышать: в 1-5-м классах -15 минут, в 5-7-м классах - 20 минут, 8-9-м классах -25 минут, 10-11-м классах - 30 минут на первом часу занятий и 20 минут на втором [7]. Разработчики делают игры увлекательными, яркими и затягивающими. Многие игры сделаны так, что играть в одиночку в онлайн-игре невозможно. Для игры нужно создавать команду, которой выделяются определенные задания, растягивающиеся на несколько часов, и ребенок не может выйти из игры до тех пор, пока не добьется поставленной цели и не получит вознаграждение или открытие нового уровня, а иногда для продолжения и развития игры оплаты нового элемента.

При долгом нахождении в онлайн-играх, ребенок непроизвольно вживается в роль героя, и любая победа повышает его самооценку и придает авторитет среди таких же “игроманов”.

После достигнутых мини-целей ребенок настолько втягивается, что забывает о еде и занятиях в школе, прогулках, что очень негативно влияет на здоровье. Серьезную проблему представляет тот факт, что играя в онлайн-игры, неокрепшая детская психика может перенести жестокость, убийство и другие антисоциальные поступки в реальную жизнь.

Одна из самых распространенных за последние десятилетия смертельная игра «Синий кит». В ней перед подростками ставятся цели на 50 дней и в очень раннее время, когда организм еще спит, они должны быть достигнуты, при этом необходима видео фиксация выполнения. За этим всем следят онлайн-кураторы. Требование кураторов – ни с кем не общаться, все должно быть секретно, мотивируя тем, что взрослые ничего не понимают в современной жизни. Последнее задание покончить с собой.

3. Различные интернет-общения. Сюда можно отнести форумы, сайты знакомств, социальные сети. На сегодняшний день самые популярные социальные сети – tik-tok, вконтакте, Instagram и тиндер. Здесь можно не только общаться, но и делиться своими фото и видео, а также просматривать фото и видео других людей. Анонимность способствует агрессивному поведению, что сводит вероятность ответственности к нулю. Данное поведение приводит к формированию неверного представления об общении. Многие дети на данных сайтах делятся не только фотографиями с собой и своими друзьями, но и личной информацией, такой как адрес проживания, телефон, место учебы, местами частого времяпровождения. Т.е. той информацией, которой может воспользоваться в своих целях мошенник, маньяк. Родителям необходимо контролировать информацию, которую выкладывает ребенок. Данные сайты не только подрывают детскую психику, но и создают неверные стереотипы и могут причинить вред жизни и здоровью ребенка [4].

Здесь можно упомянуть и вопрос буллинга, когда происходит не только физическая составляющая, но и психологическое давление. Почему так происходит? Потому что дети предпочитают родителям и учителям виртуальный мир.

4. Не стоит забывать о рекламных блогах и всевозможных сайтах направленных на сектантство, педофилию, терроризм, сатанизм, экстремизм, которые начали появляться с огромной скоростью [3]. Здесь ведется работа не только над психикой ребенка в целях распространения своего контента, но и с целью порабощения детей за минимальное вознаграждение для совершения диверсий, терактов и других противоправных действий.

Проводимые исследования

Для проведения исследований были выбраны 4 возрастные группы по 41 человеку: 1 группа – пилотная, подростки 15-18 лет, 2 группа - пилотная, дети 10-14 лет , 3 группа – контрольная, подростки 15-18 лет и 4 группа – контрольная, дети 10-14 лет.

При проведении теста, состоящего из 14 вопросов, в 1 группе по теме «Безопасность в интернете» полученные данные показали, что на 12-14 смогли ответить 75,6%, на 9-11 – 7.3% испытуемых, а 17% справились только с половиной вопросов (см. рис. 1).

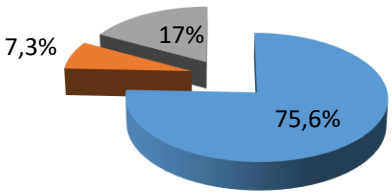


Рис. 1. Тестирование 1 группы по теме «Безопасность в интернете»

Тот же тест с испытуемыми второй группы (см. рис. 2):

12-14 вопросов - 19,5%;
9-11 – 75,8 %;
Половина и менее – 4,7 % .

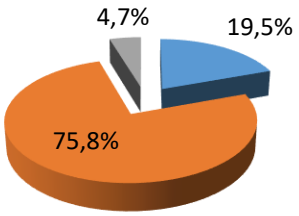


Рис. 2. Тестирование 2 группы по теме «Безопасность в интернете»

При проведении теста, состоящего из 20 вопросов, в первой группе по теме «Безопасность детей в среде интернет» полученные данные показали, что правильно ответить на 17-20 вопросов не смог никто, на 13-16 – 22%, на 9-12 – 51,2 %, а 26,8 % справились только с половиной.

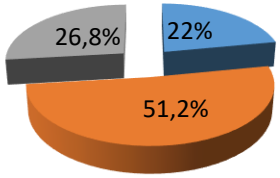


Рис.3. Тестирование 1 группы по теме «Безопасность детей в среде интернет»

Тот же тест с испытуемыми второй группы (см. рис. 4):

17-20 вопросов – 0%
13-16 вопросов - 4,9%;
9-12 – 34,1 %;
Половина и менее – 61 % .

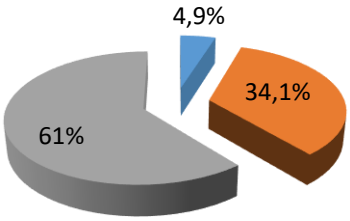


Рис. 4. Тестирование 2 группы по теме «Безопасность детей в среде интернет»

При проведении теста, состоящего из 14 вопросов, в третьей группе по теме «Безопасность в интернете» полученные данные показали, что

на 12-14 смогли ответить 73,1%, на 9-11– 9,8% испытуемых, и 17,1 % справились с половиной (см. рисунок 5).

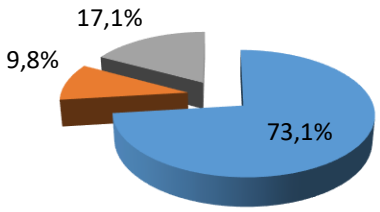


Рис 5. Тестирование 3 группы по теме «Безопасность в интернете»

Среди испытуемых четвертой группы тот же тест:

12-14 вопросов – 17.1%

9-11 - 48,8%;

Половина и менее – 34.1 % (см. рис. 6).

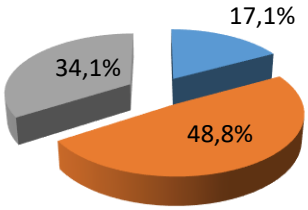


Рис. 6. Тестирование 4 группы по теме «Безопасность в интернете»

При проведении теста в третьей группе по теме «Безопасность детей в среде интернет», состоящего из 20 вопросов, на 17-20 не смог никто ответить, на 13-16 – 22% испытуемых, на 9-12 – 53,6 %, а 24,4 % справились только с половиной вопросов (рис. 7).

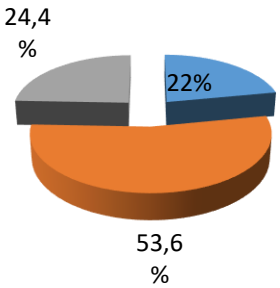


Рис. 7. Тестирование 3 группы по теме «Безопасность детей в среде интернет»

Тот же тест с испытуемыми 4 группы (см. рисунок 8):

17-20 вопросов – никто не ответил.

13-16 – 4,9 %.

9-12 – 29,3 %.

Менее половины – 65,8 %.

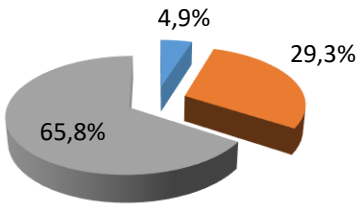


Рис. 8. Тестирование 4 группы по теме «Безопасность детей в среде интернет»

Спустя 2 месяца работы с контрольными 3 и 4 группами получаем следующие данные.

При проведении теста в третьей группе по теме «Безопасность в интернете», состоящего из 14 вопросов, на 12-14 уже смогли ответить 80,5 %, на 9-11 – 14,6% испытуемых, на 8 и менее вопросов – 4,9 % (см. рис. 9).

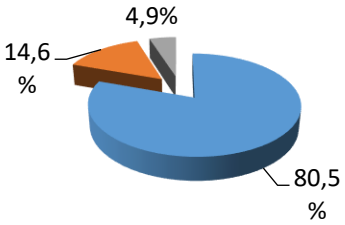


Рис. 9. Тестирование 3 группы по теме «Безопасность в интернете»

Тот же тест с испытуемыми 4 группы (см. рис. 10):

12-14 вопросов - 24,4%.

9-11 – 51,2 %.

Половина и менее – 24,4 %.

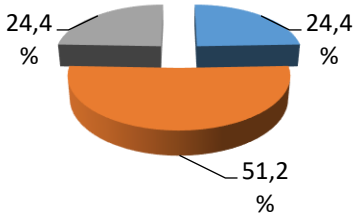


Рис. 10. Тестирование 4 группы по теме «Безопасность в интернете»

При проведении теста в третьей группе по теме «Безопасность детей в среде интернет», со-

стоящего из 20 вопросов, на 17-20 не ответил никто, на 13-16 – 29,3 % испытуемых, на 9-12 – 61 %, а на 8 и менее вопросов – 9,7 % (см. рисунок 11).

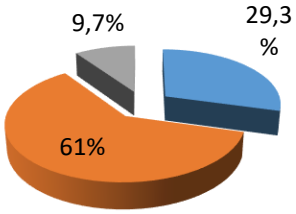


Рис. 11. Тестирование 3 группы по теме «Безопасность детей в среде интернет»

Тот же тест с испытуемыми 4 группы (см. рис. 12):

17-20 вопросов - никто не смог ответить.

13-16 – 9,7%.

9-12 – 41,5 %.

8 и менее – 48,8 %.

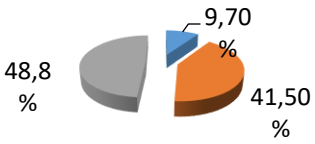


Рис. 12. Тестирование 4 группы по теме «Безопасность детей в среде интернет»

Как видно из рисунков 9-12, после совместной работы учителей и родителей с детьми и подростками на протяжении двух месяцев результаты значительно улучшились.

Способы и средства по обеспечению информационной безопасности детей

Для того чтобы обеспечить информационную безопасность ребенку, родителям необходимо:

1. Исключать (ограничивать) возможность неконтролируемого поиска и просмотра информации, которая может повлечь возможную угрозу для ребенка.
2. Устанавливать прокси-серверы, DNS [1] и программы для блокировки рекламных рассылок не подходящих для ребенка;
3. Установка программных утилит для ограничения детей от нежелательной информации.

Педагогам:

1. Регулярно проводить беседы с родителями и учащимися на тему «Безопасность детей и подростков в сети Интернет»;
2. Использовать технические и технологические средства, а также комплексные подходы на занятиях по обучению работе в интернете детей и подростков [3, 1];
3. Заполнять сайт образовательной организации информацией по данной проблеме;
4. Распространять информационные буклеты по проблеме безопасности детей и подростков в сети Интернет [6];
5. Устанавливать программные средства для фильтрации контента [3].

Для обеспечения информационной безопасности детей и подростков необходима комплексная работа педагог-родитель-государство. Нужно, чтобы государство также заботилось о сохранении психического и психологического здоровья подрастающего поколения. Требуется постоянное взаимодействие с общественными организациями, работающими в направлении повышения медиа-грамотности детей для приобретения ими навыка безопасного нахождения в информационном мире. Только совместная работа школ, родителей и государства сможет развить у подрастающего поколения навыки самостоятельно оценивать контент, анализировать и различать информацию [9].

Заключение

Информационная безопасность детей и подростков – это элемент защищенности подрастающего поколения, при котором риск, связанный с причинением информацией, в том числе распространенной в сети Интернет, вреда для здоровья и развития отсутствует [8].

Необходимо:

- создать безопасную среду для работы в интернете, для обеспечения, сохранения и укрепления социального, психологического, духовного, нравственного и физического здоровья детей и подростков;
- создать организационно-правовые механизмы защиты от распространения вредоносной информации в сети Интернет;
- применять программные и аппаратные системы фильтрации информации;
- проводить профилактику интернет-зависимости и игромании среди детей и подростков;

- информационное просвещение взрослых о возможных вариантах защиты подрастающего поколения от информации, причиняющей вред здоровью и развитию;
- обучение педагогов обеспечению мер информационной безопасности детей;
- разрабатывать и проводить для педагогов-психологов специальные курсы по психолого-педагогическому сопровождению процесса информатизации образования подрастающего поколения, а также помогать в преодолении последствий негативного влияния интернета на детей и подрастающее поколение;
- разработать для работников образовательной сферы и родителей специальные курсы по проблемам информационной безопасности и защите от вредоносной информации ребенка;
- обеспечение ПК программным продуктом, обеспечивающим фильтрацию сайтов;
- заключение договора между образовательным учреждением и провайдером об обеспечении контент-фильтрации;
- проводить мониторинг социальных сетей в интернете по выявлению распространения материалов булинга, экстремизма, порнографии, наркотических средств и психотропных веществ и пр.

Несмотря на то, что большинство родителей не осознают влияния информации из сети Интернет, которым подвергаются дети и подростки, без привлечения педагогов достигнуть положительных результатов будет невозможно.

В связи с вышесказанным необходимо уделять больше внимания ребенку, делать его жизнь более красочной и насыщенной, разделять его интересы, обеспечивать занятия в спортивных секциях или различных культурных кружках, максимально интересных ребенку и отвлекающих его от бесконтрольного потребления интернет-контента.

Список литературы

1. Гунько Я. Информационная безопасность детей в сети интернет. Форум молодых ученых: №4 (32). 2019 г. с. 272-276.
2. Николаев С.В. О некоторых перспективных механизмах реализации государственной политики в области обеспечения информационной безопасности детей в сети "интернет". Перспективы развития информационных технологий: № 31. 2016 г. с. 134-138.
3. Лях Ю.А., Овчиев Р.М. Проблемы информационной безопасности детей в сети интернет. Наука и образование: хозяйство и экономика; предпринимательство; право и управление: №11 (66). 2015 г. с. 135-139.
4. Савченко В.В., Левина О.Е. Влияние интернета на детей и информационная безопасность в XXI веке. Вестник воронежского института высоких технологий: №1 (20). 2017 г. с. 86-89.
5. Ермакова Н.О. Фоломеева Т.В. Вопросы обеспечения информационной безопасности детей при использовании ресурсов сети интернет. Новая наука: проблемы и перспективы: т. 2, № 2. 2017 г. с. 174-176.
6. Завалишина О.В. Информационная безопасность детей в интернете: помощь родителям. Педагогический поиск: №10-12. 2014 г. с. 97-99.
7. СанПиН 2.2.2./2/4/1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
8. Гренева К.В. Мухина О.О. Информационная безопасность детей в сети интернет. Дневник науки: № 11 (11). 2017 г. С. 3.
9. Ожиганова М.И., Костюков А.Д. Информационная безопасность детей. Опыт работы кафедры информационной безопасности. Гуманитарно-педагогическое образование. Том 5, № 1. 2019 г. с. 27-31.
10. Ожиганова М.И., Белов Е.Б. О формировании культуры информационной безопасности у детей и школьников в дошкольных образовательных и общеобразовательных организациях. Организационно-методические подходы. Вестник УРФО. Безопасность в информационной сфере: №3 (29). 2018 г. с. 62-66.

References

1. Gunko Ya. Information security of children on the Internet. Forum of Young Scientists: No.4 (32). 2019, pp. 272-276.
2. Nikolaev S.V. On some promising mechanisms for the implementation of state policy in the field of information security of children on the Internet. Prospects for the development of information technologies: No. 31. 2016, pp. 134-138.
3. Lyakh Yu.A., Ovchiev R.M. Problems of information security of children on the Internet. Science and education: economy and Economics; entrepreneurship; law and Management: No.11 (66). 2015, pp. 135-139.
4. Savchenko V.V., Levina O.E. The impact of the Internet on children and information security in the XXI century. Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies: No. 1 (20). 2017, pp. 86-89.
5. Ermakova N.O. Folomeeva T.V. Issues of ensuring the information security of children when using Internet resources. New Science: problems and Prospects: vol. 2, No. 2. 2017, pp. 174-176.
6. Zavalishina O.V. Information security of children on the Internet: helping parents. Pedagogical search: No.10-12. 2014, pp. 97-99.

7. SanPiN 2.2.2./2/4/1340-03 "Hygienic requirements for personal electronic computers and organization of work".
8. Greneva K.V. Mukhina O.O. Information security of children on the Internet. Journal of Science: No. 11 (11). 2017 p. 3.
9. Ozhiganova M.I., Kostyukov A.D. Information safety of children. Work experience of the Department of Information Security. Humanitarian and pedagogical education. Volume 5, No. 1. 2019, pp. 27-31.
10. Ozhiganova M.I., Belov E.B. On the formation of an information security culture among children and schoolchildren in preschool educational and general education organizations. Organizational and methodological approaches. Bulletin of the Ural Federal District. Security in the information sphere: No.3 (29). 2018, pp. 62-66.

УДК 531:37.018.43

Применение дистанционного обучения в системе Moodle для студентов направления подготовки 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг», при изучении теоретической механики

Н.К. Корнеева[1]
[1] *Севастопольский государственный университет, ул. Университетская 33, 299053, Севастополь, Россия, korneeva_nk@mail.ru*

Статья поступила 03.02.2023 г.; после доработки 06.02.2023 г.

Аннотация

В статье рассматриваются особенности преподавания теоретической механики в ВУЗе с использованием дистанционных технологий в системе Moodle у студентов направления 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг». Производится сравнительный анализ очного и дистанционного формата. Представляются основные методы преподавания теоретической механики в режиме онлайн. Сформулированы основные достоинства и проблемы связанные с дистанционным образованием.

Ключевые слова: дистанционное обучение, теоретическая механика, преподавание, дистанционное обучение,Moodle, электронные ресурсы, эффективность образовательного процесса.

The use of distance learning in the Moodle system for students of the training direction 14.05.02 "Nuclear power plants: design, operation and engineering", in the study of theoretical mechanics

Korneeva N.K.[1]
[1] *Sevastopol State University, 33 Universitetskaya str., 299053, Sevastopol, Russia, korneeva_nk@mail.ru,*

Received 03.02.2023 y.; received in final form 06.02.2023 y.

Abstract

The article discusses the features of teaching theoretical mechanics at a university using remote technologies in the Moodle system for students of the direction 14.05.02 "Nuclear power plants: design, operation and engineering". A comparative analysis of face-to-face and remote formats is carried out. The main methods of teaching theoretical mechanics online are presented. The main advantages and problems associated with distance education are formulated.

Keywords: distance learning, theoretical mechanics, teaching, distance learning, Moodle, electronic resources, the effectiveness of the educational process.

Введение

Повышение уровня эффективности учебного процесса одна из важнейших задач, стоящих перед современным педагогом. Обрушившаяся пандемия Covid-19 оказала существенное влияние на все сферы нашей жизнедеятельности, в том числе, и на образование. Экстренный незапланированный переход на дистанционное обучение потребовал перестройки всего учебного процесса, пересмотра его организации, мобилизации работ по обеспечению электронного обучения.

В процессе современного образования дистанционное образование позволяет сделать учебный процесс более эффективным, понятным и интересным. Дистанционное обучение отвечает требованиям современной жизни и доступно любому желающему. Необходимо учитывать, что посредством интернет-технологий происходит обмен учебной информацией. [4]

Постановка задачи

Основной целью данной работы является выявление особенностей преподавания теоретической механики в очном и дистанционном режимах у студентов направления подготовки 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг», анализ основных проблем и факторов, влияющих на учёбу с использованием технологий в системе Moodle.

Теоретическая механика, базовая дисциплина

Теоретическая механика является одной из базовых общеинженерных дисциплин. Применяются знания теоретической механики при проектировании различных сооружений и машин, при изучении движения механизмов и машин. В век научно–технической революции трудно представить себе какую-либо область техники, где не применялось бы автоматическое регулирование. Оно необходимо всюду, где нецелесообразно ручное управление, то есть в тех случаях, когда нужна большая скорость и точность управления. Это относится, в полной мере, и к управлению атомными энергетическими установками АЭС.

Законы теоретической механики широко используются в таких важных общеинженерных и специальных дисциплинах, как сопротивление материалов, теория механизмов и машин, механика жидкости и газа, теория турбин, теория автоматического регулирования и управления атомными энергетическими установками и др., которые изучаются в университете и формируют будущего инженера, как специалиста. [3]

При изучении теоретической механики возникают определенные трудности, объясняющиеся тем, что теоретическая механика относится к фундаментальным дисциплинам физико-математического цикла.

В ней весьма широко используется богатый математический аппарат при исследовании тех или иных механических явлений. Сокращение аудиторного времени, которое отводиться на изучение курса, компенсируется увеличением самостоятельной работы студентов.

Для улучшения качества самостоятельной работы можно использовать СДО Moodle.

Особенности использования дистанционных технологий в системе Moodle

Применение компьютерных телекоммуникаций напрямую связано с их возросшими техническими возможностями.

Применение электронных ресурсов позволяет студентам пользоваться:

– возможностью оперативной передачи информации на любые расстояния, любого объема, нужное количество времени, возможностью ее редактирования, обработки, распечатки и т.д.;
– возможностью обмена информацией, налаживанию диалога с преподавателем;
– возможностью доступа и работы к различным источникам информации, в том числе удаленным;
– возможность обмена мнениями с любым участником дистанционного курса и преподавателем;
– возможность запроса информации по любому интересующему вопросу, в том числе восстановить пропущенные лекции, практические занятия.[2]

К сожалению, в настоящее время в основных образовательных программах наблюдается тенденция к сокращению часов на основные виды учебной деятельности (лекции, практические и лабораторные занятия, консультации). У студентов направления подготовки 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг» из 216 выделенных по программе часов 144 отводиться на самостоятельное изучение материала.

В таких условиях важно качественно организовать самостоятельную работу студентов и в полном объёме обеспечить информационное учебно-методическое сопровождение учебного процесса.

Презентации, учебные видеоролики лекций и практических занятиях, хранящиеся в архиве платформы BigBlueButton, вспомогательные учебно-методические материалы, предоставленные в электронном виде, улучшает качество подготовки студентов. Таким образом, разработанный материл в системе Moodle, позволяет облегчить самостоятельную работу студентов.

Нельзя не учитывать проблемы посещения занятий. Пропуски по уважительной и не уважи-

тельной причине приводят к увеличению задолженностей.

Особенно актуально это становиться в осеннем семестре для студентов направления подготовки 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг», т.к. идет подготовка документов при поступлении на военную кафедру. Студентам приходиться пропускать занятия. Для восстановления пробелов знаний, материл в системе Moodle, является хорошим подспорьем.

Аргументы за использования дистанционных технологий в системе Moodle

Система дистанционного образования Moodle – образовательная платформа, которая обеспечивает дистанционную форму обучения, является средством структурирования учебно-методических материалов, поддерживает технологическую составляющую учебного процесса. ЭОК входят в СДО Moodle, их состав содержит все виды работ согласно утверждённой рабочей учебной программе [2].

Решающим фактором при выборе именно такого формата среди прочих существующих явились его очевидные преимущества: гибкость и комфортность сетевого обучения (обучаемый сам выбирает график учебы и траекторию изучения материала); оптимальное восприятие учебного материала (тексты учебного материала могут сопровождаться иллюстрациями, аудио- и видеороликами по тематике, интерактивными симуляциями, что задействует дополнительные каналы восприятия информации); доступность (обеспечивает возможность получения образования практически каждому) [5].

Курс теоретической механики в СДО Moodle у студентов на направлении 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг» включает: аннотацию курса, учебно-тематический план, список основной и дополнительной литературы, мультимедийные лекции-презентации, мультимедийные практические занятия, мультимедийные лабораторные работы, учебно- методически пособия и методички для выполнения индивидуальных заданий, тестовые вопросы для контроля знаний, вопросы для подготовки к экзаменам/зачётам.

Таким образом, студенты полностью обеспечены материалами для самостоятельного изучения и освоения дисциплины согласно рабочей программе.

Вывод

Достоинства применения СДО Moodle при изучении теоретической механики студентами направления 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»:

1. При СДО Moodle выполняются принципы самообучения.
2. Появляется неограниченный доступ к образовательному контенту и возможность обучаться в любое время и в любом месте.
3. Нет необходимости выезжать в учебное заведение у тех студентов, кто физически не может находиться в учебной аудитории по причине болезни или инвалидности.
4. Возможность вернуться к уже пройденному материалу, актуально для студентов, занимающихся своим самообразованием.
5. Повышается уровень осознанного отношения к учёбе.
6. Повышается ответственность за результат своего обучения
7. Студенты учатся рационально распределять время и силы.

Недостатки применения СДО Moodle при изучении теоретической механики студентами направления 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»:

1. Не каждый студент умеет поддерживать у себя мотивацию к самостоятельной работе, появляется желание отложить работу на поздний срок.
2. У студента есть соблазн и достаточно возможностей для «несамостоятельного» обучения, а у преподавателя нет возможности для качественного контроля подобных издержек дистанционных технологий.
3. Отсутствие прямого общения между преподавателем и студентом, появляются пробелы в знаниях, так как тему, которую студент не усвоил в полном формате, ему обсудить не с кем.
4. Часто встречающиеся технические неполадки. Дистанционный формат полностью зависит от Интернет-соединения и требует определенного оборудования.

Заключение

Широкое применение в учебном процессе интерактивных методов обучения посредством использования специализированных виртуальных сред может существенно повысить качество образования. СДО Moodle позволит изменить модель высшего образования. Система полезна

не только для использования студентами в случае перехода на полное удалённое обучение, но и для поддержки очного образования, сопровождения учебной деятельности студентов- заочников. ЭОК служат для эффективной организации самостоятельной деятельности студентов; развивают у них ответственность и самоорганизацию.

Список литературы

1. Змеев М. В. Дистанционное обучение в программной среде Moodle: от урока до курса (учебное пособие для учителей и преподавателей) / М. В. Змеев, Р. Р. Камалов, А. И. Макурин – Глазов: АНО Центр НИОКР «Универсум», 2018–118 с.: ил.
2. Корнеева Н.К., Корнеева А.А. Использование компьютерных технологий и социальных сетей при изучении теоретической механики // сборник статей МНПК - Уфа: Омега Сайнс, 2018, С. 124 -130.
3. Корнеева Н.К., Пичугова Л.Н., Корнеева А.А., Дюдяев И.А., Майорова В.В. Способы реализации тьюторского сопровождения при изучении механики студентами заочной формы обучения // Сборник трудов всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Управление цифровой трансформацией общего и профессионального образования, Павловский филиал ФГОАУ ВО "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского". 276 с.: ил. – С. 111-116.
4. Полат Е.С. Теория и практика дистанционного обучения: учебное пособие для ВУЗов. – Москва: Академия, 2004. – 414 с.
5. Полат, Е. С. Теория и практика ДО / Е. С. Полат // Информатика и образование. – 2001. – № 5. – С. 37–42.

References

1. . Zmeev M. V. Distance learning in the Moodle software environment: from lesson to course (textbook for teachers and lecturers) / M. V. Zmeev, R. R. Kamalov, A. I. Makurin – Glazov: ANO R&D Center "Universum", 2018–118 p.: ill.
2. Korneeva N.K., Korneeva A.A. The use of computer technology and social networks in the study of theoretical mechanics // collection of articles MNPK - Ufa: Omega Science, 2018, pp. 124 -130.
3. Korneeva N.K., Pichugova L.N., Korneeva A.A., Dyudyaev I.A., Mayorova V.V. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation "Managing the Digital Transformation of General and Vocational Education, Pavlovsk Branch of the National Research Nizhny Novgorod State University named after N.I. Lobachevsky". 276 p.: ill. - S. 111-116.
4. Polat E.S. Theory and practice of distance learning: a textbook for universities. - Moscow: Academy, 2004. - 414 p.
5. Polat, E. S. Theory and practice of distance education / E. S. Polat // Informatics and education. - 2001. - No. 5. - S. 37–42.

УДК 621.039.5:699.841:624.042.8

Метод оценки экономической составляющей при организации информационной безопасности

В.В. Пелись[1], Е.А. Контылева[1], А.О. Егорова[1]
[1]ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, eakontyleva@sevsu.ru

Статья поступила 02.02.2023 г.; после доработки 08.02.2023 г.

Аннотация

Рассмотрена методика предварительной оценки экономической целесообразности принимаемых мер по обеспечению информационной безопасности и предотвращенного экономического ущерба от инцидентов информационной безопасности при создании и поддержании системы защиты информации объекта информатизации.

Ключевые слова: информационная безопасность, объект информатизации, финансовые затраты, экономическая эффективность, предотвращенный ущерб.

The method of assessing the economic component in the organization of information security

V.V. Pelis[1], E.A. Kontyleva[1], A.O. Egorova[1]
[1]Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, eakontyleva@sevsu.ru

Received 02.02.2023 y.; received in final form 08.02.2023 y.

Abstract

The method of preliminary assessment of the economic feasibility of the measures taken to ensure information security and prevented economic damage from information security incidents in the creation and maintenance of the information security system of the informatization object is considered.

Keywords: information security, the object of informatization, financial costs, economic efficiency, prevented damage.

Введение

При планировании и построении системы защиты информации объекта информатизации всегда возникает вопрос экономической целесообразности принимаемых мер и экономической эффективности создаваемой системы защиты информации объекта информатизации. Правильная оценка данных показателей невозможна без оценки ущерба от инцидентов информационной безопасности и позволяет предварительно оценить необходимые финансовые вложения в обеспечение информационной безопасности.

В настоящее время, несмотря на возрастающую потребность в простой и эффективной методике оценки ущерба от инцидента информационной безопасности (ИИБ), не так много публикаций и исследований на эту тему. Существующие документы регуляторов дают много определений, но также не позволяют просчитать потенциальный ущерб от ИИБ [1, 2].

Большинство авторов статей, посвящённых вопросам оценки ущерба от ИИБ, в качестве математического аппарата используют теорию вероятностей, и это оправдано, так как подавляющее число составляющих ущерба носит стохастический, вероятностный характер [3-13]. Однако встречаются и другие подходы к решению проблемы оценки ущерба от ИИБ, например, в [14] предлагается использовать для оценки риска

алгоритм на основе методов нечёткой логики и теории нечётких множеств.

Интересный и достаточно полный подход к решению вопроса количественной оценки рисков безопасности на основе метрик предлагается в [15] и оценки ущерба в [16].

Постановка задачи

Найти легко реализуемый способ/метод оценки экономической эффективности (целесообразности создания) СЗИ и предотвращенного ущерба от возможных инцидентов ИБ.

Методика оценки экономической целесообразности (эффективности) принимаемых мер для обеспечения информационной безопасности.

Понятие экономической целесообразности (эффективности) подразумевает наличие некоторой положительной разницы между затратами и полученными доходами (предотвращенным ущербом).

Предотвращенный ущерб – ущерб, который мог бы иметь место при реализации всех актуальных угроз за некоторый период времени в случае непринятия мер защиты.

Экономическая целесообразность принимаемых мер для обеспечения информационной безопасности в первом приближении может быть оценена числом A_{eT}, равным отношению предотвращенного ущерба, который бы мог быть причинен объекту информатизации (ОИ) в результате инцидента(ов) информационной безопасности (ИИБ), к сумме затрат на создание и поддержание системы защиты информации объекта информатизации (СЗИ ОИ) в определенный период времени (например, за год или срок службы СЗИ):

$$A_{eT} = \frac{D_T * T}{(C_b + C_{sT} * T)} \quad (1)$$

где: A_{eT} – экономическая целесообразность, приведенная к некоторому периоду времени (например, 1 год или срок службы СЗИ);

D_T – предотвращённый ущерб, равный сумме ущербов при реализации всех актуальных угроз за единицу времени (год);

C_b – затраты на создание СЗИ ОИ;

C_{sT} – затраты на поддержание работоспособности СЗИ ОИ за единицу времени (год);

T – период времени, для которого производится оценка (например, 1 год или срок службы СЗИ).

При $A_{eT}>1$ затраты на создание и поддержание СЗИ ОИ экономически оправданы, и, чем больше это число, тем лучше. Если же $A_{eT}\leq 1$, то создание и поддержание проектируемой СЗИ ОИ экономически нецелесообразно. В этом случае необходимо либо пересмотреть подходы к построению СЗИ, либо отказаться от ее создания.

Экономическая эффективность СЗИ ОИ также может быть оценена, как ***срок окупаемости*** затрат на создание и поддержание СЗИ ОИ (лет):

$$T = \frac{(C_b + C_{sT} * T)}{D_T * T} \quad (2)$$

Чем меньше срок окупаемости, тем выше экономическая эффективность СЗИ ОИ.

Экономическая эффективность также может быть оценена, как величина полученной выгоды от внедрения СЗИ за некий контрольный период, например, установленный срок службы СЗИ.

Полученная выгода E_e фактически равна разнице между предотвращенным ущербом и затратами на создание и поддержание СЗИ ОИ в работоспособном состоянии за контрольный период времени (установленный срок службы СЗИ ОИ, лет) T_s:

$$E_e = D_T * T_s - (C_b + C_{sT} * T_s), \quad (3)$$

Если при расчёте затрат на создание и поддержание работоспособности (эксплуатацию) СЗИ ОИ обычно проблем не возникает, то оценка возможного ущерба будет постоянно варьироваться из-за постоянного изменения спектра актуальных угроз.

Затраты на создание СЗИ ОИ могут включать стоимость проектирования СЗИ ОИ, оборудования, ПО, лицензий, работ по созданию, настройке и конфигурированию СЗИ, обучения эксплуатирующего персонала и т.п.

Затраты на эксплуатацию СЗИ ОИ могут включать стоимость потребляемой электроэнергии оборудованием СЗИ, расходных материалов для проведения технического обслуживания, ремонта вышедшей из строя аппаратуры, оплату труда эксплуатирующего персонала и т.д.

Методика оценки предотвращённого экономического ущерба в результате инцидента информационной безопасности.

Использование теории вероятности при оценке возможного ущерба оправдано вероятностным характером реализации угроз. Однако для использования математического аппарата теории вероятностей необходимо знать законы распределения для всех оцениваемых величин, а они, в большинстве случаев, неизвестны. Поэтому для случайных величин с неизвестными

параметрами распределения целесообразно считать, что значение ущерба будет максимально возможным, и считать вероятность реализации соответствующей угрозы равной 1 за среднестатистический период повторения ИИБ.

Для приблизительной (предварительной) оценки суммарного предотвращенного ущерба за контрольный период времени (установленный срок службы СЗИ, лет) можно предложить следующую формулу:

$$D_F = \sum_{n=1}^{N} (D_{Fn} * T_s / T_n) \quad (4)$$

где: D_F – суммарный предотвращенный ущерб от всех возможных ИИБ за контрольный период времени (установленный срок службы СЗИ, лет);

D_{Fn} - полный предотвращенный ущерб от одного ИИБ, вызванного n-ой угрозой;

T_s – контрольный период времени (установленный срок службы СЗИ, лет);

T_n – средний период повторения n-ой угрозы (лет).

Значение предотвращённого ущерба за единицу времени (год) от всех возможных ИИБ для (2) и (3) можно определить по формуле:

$$D_T = D_F / T_s \quad (5)$$

Для приблизительной (предварительной) оценки суммарного ущерба, который может быть причинён в результате любого одного n-го ИИБ, можно использовать следующую формулу:

$$D_{Fn} = \sum_i D_{dni} + \sum_j D_{pnj}, \quad (6)$$

где: D_{Fn} – полный предотвращенный ущерб от одного n-го ИИБ;

D_{dni} – i-ая детерминированная составляющая предотвращенного ущерба от n-ой угрозы;

D_{pj} – j-ая вероятностная составляющая предотвращенного ущерба от n-ой угрозы.

К группе детерминированных составляющих ущерба можно отнести:

- прямой финансовый ущерб;
- стоимость создания, обработки, передачи и хранения информации, пострадавшей (утратившей какие-то свои свойства) в результате ИИБ;
- стоимость восстановления утраченной информации или ее утраченных свойств;
- штрафы, которые будут наложены;
- стоимость восстановления программного и аппаратного комплекса обработки информации;
- материальный ущерб ПАК автоматизированного производства и производимому продукту;
- недополученная прибыль за время развития ИИБ и ликвидации его последствий;
- иной ущерб.

К группе вероятностных составляющих ущерба можно отнести:

- суммарная величина судебных исков;
- ущерб репутации организации;
- экологический ущерб;
- ущерб собственнику в результате противоправного использования похищенных данных;
- иной ущерб.

Виды угроз (ущерба) и типовые негативные последствия от реализации угроз безопасности информации приведены в приложении 4 к Методике оценки угроз безопасности информации [1].

Заключение

Таким образом, предложенная методика приблизительной (предварительной) оценки экономической целесообразности принимаемых мер по обеспечению информационной безопасности основывается на расчете затрат по созданию и поддержанию СЗИ ОИ, и предотвращенного экономического ущерба в результате ИИБ. Оценка последнего в свою очередь основывается на оценке детерминированных и стохастических составляющих ущерба. Благодаря возможности быстро получить искомые величины можно сократить сроки на принятие решения. В практическом плане это позволит быстрее и точнее спрогнозировать объём средств, необходимый для создания и поддержания СЗИ ОИ.

Список литературы

1. Методический документ. Методика оценки угроз безопасности информации. ФСТЭК, Москва – 2021. (утвержден ФСТЭК России 05.02.2021 г.).
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 18044-2007. Менеджмент инцидентов информационной безопасности. Москва: Стандартинформ – 2009.
3. Таныгин, М. О. Модель оценки ущерба от инцидентов информационной безопасности. Безопасность информационных технологий / М. О. Таныгин, Ю. А. Будникова, А. С. Булгаков, М. А.

Марченко // Безопасность информационных технологий. 2021. Т. 28. № 2. С. 98-106.
4. Щербакова, А. Ю. Вероятностная оценка последствий инцидентов информационной безопасности // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2013. Т. 1. С. 125-128.
5. Пыркин, Н. Н. Экономический ущерб от несанкционированного доступа к информационной системе предприятия сферы услуг // Вестник Поволжского государственного университета сервиса. Серия: Экономика. 2010. № 1(9). С. 105-110.
6. Ермакова, А. Ю. Построение модели ущерба активам организации при возникновении инцидентов, приводящих к нарушению информационной безопасности / А. Ю. Ермакова, А. Б. Лось // Математическое и компьютерное моделирование в экономике, страховании и управлении рисками. 2020. № 5. С. 77-85.
7. Аверьянов, В. С. Оценка защищенности киберфизических систем на основе общего графа атак / В. С. Аверьянов, И. Н. Карцан // Южно-Сибирский научный вестник. 2022. № 1(41). С. 30-35.
8. Савельев, Р. Н. Основные методы выявления нарушения информационной безопасности по данным мониторинга наземного комплекса управления спутниковой сети / Р. Н. Савельев, И. Н. Карцан // В сборнике: Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2021. С. 405-408.
9. Гончаренко, Ю. Ю. Качественная оценка методик разработки автоматизированных средств / Ю. Ю. Гончаренко, Г. С. Погуляй, В. В. Пелись, М. Г. Щербаченко // Энергетические установки и технологии. 2022. Т. 8. № 2. С. 79-86.
10. Рябушей, Ю. Н. Применение искусственных нейронных сетей в области защиты информации / Ю. Н. Рябушей, А. В. Лебеденко, Ю. Ю. Гончаренко // В сборнике: Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций "РТ-2017". 2017. С. 284.
11. Жуков, А. О. Информационная безопасность для проекта "Умный город" / А. О. Жуков, И. Н. Карцан, В. С.Аверьянов // Информационные и телекоммуникационные технологии. 2021. № 51. С. 39-45.
12. Миронова, А. О. Применение методики оценки угроз безопасности информации / А. О. Миронова, Ю. Ю. Гончаренко, А. С. Гоголь, А. Н. Фролова // Энергетические установки и технологии. 2021. Т. 7. № 4. С. 71-75.
13. Kucherova, H. Modeling the stakeholder's behavior on the base of online inquiries about tertiary / H. Kucherova, D. Ocheretin, Y. Honcharenko, O. Mykoliuk // В сборнике: 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2021 - Proceedings. 11. 2021. С. 35-40.
14. Нечунаев, В. М. Оценка рисков информационной безопасности корпоративной информационной системы // Доклады ТУСУРа. 2009. № 1(19). Ч. 2. С. 51-53.
15. Нурдинов Р.А. Модель количественной оценки рисков безопасности корпоративной информационной системы на основе метрик // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. 2016. 186 с.
16. Метод количественной оценки ущерба от воздействия угроз безопасности информации / А. Н. Люльченко, В. Г. Швед, М. И. Ожиганова, А. Д. Костюков // Защита информации. Инсайд. – 2021. – № 5(101). – С. 11-15.

References

1. Methodological document. Methodology for assessing information security threats. FSTEC, Moscow – 2021. (approved by the FSTEC of Russia on 05.02.2021).
2. GOST R ISO/IEC TO 18044-2007. The management of information security incidents. Moscow: Standartinform – 2009.
3. Tanygin, M. O. A model for assessing damage from information security incidents. The danger of information technologies / M. O. Tanygin, Yu. A. Budnikova, A. S. Bulgakov, M. A. Marchenko // Information technology security. 2021. Vol. 28. No. 2. pp. 98-106.
4. Shcherbakova, A. Yu. Probabilistic assessment of the consequences of incidents of information security // Proceedings of the International Symposium "Reliability and quality". 2013. Vol. 1. pp. 125-128.
5. Pyrkin, N. N. Economic damage from unauthorized access to the information system of a service sector enterprise // Bulletin of the Volga State University of Service. Series: Economics. 2010. No. 1(9). pp. 105-110.
6. Ermakova, A. Yu. Building a model of damage to the assets of an organization in the event of incidents leading to a violation of information security / A. Yu. Ermakova, A. B. Los // Mathematical and computer modeling in economics, insurance and risk management. 2020. No. 5. pp. 77-85.
7. Averyanov, V. S. Assessment of the security of cyberphysical systems based on the general graph of attacks / V. S. Averyanov, I. N. Kartsan // South Siberian Scientific Bulletin. 2022. No. 1(41). pp. 30-35.
8. Savelyev, R. N. Basic methods of detecting information security violations based on monitoring data of the ground control complex of the satellite network / R. N. Savelyev, I. N. Kartsan // In the collection: Current problems of aviation and cosmonautics. 2021. pp. 405-408.
9. Goncharenko, Yu. Yu. Qualitative assessment of the methodology for the development of automated tools / Yu. Yu. Goncharenko, G. S. Pogulyai, V. V. Pelis, M. G. Shcherbachenko // Power plants and technologies. 2022. Vol. 8. No. 2. pp. 79-86.

10. Ryabushey, Yu. N. Application of artificial neural networks in the field of information protection / Yu. N. Ryabushey, A.V. Lebedenko, Yu. Y. Goncharenko // In the collection: Modern problems of radio electronics and telecommunications "RT-2017". 2017. p. 284.
11. Zhukov, A. O. Information security for the Smart City project / A. O. Zhukov, I. N. Kartsan, V. S.Averyanov // Information and telecommunication technologies. 2021. No. 51. pp. 39-45.
12. Mironova, A. O. Application of information security threat assessment methodology / A. O. Mironova, Yu. Yu. Goncharenko, A. S. Gogol, A. N. Frolova // Power plants and technologies. 2021. Vol. 7. No. 4. pp. 71-75.
13. Kucherova, H. Modeling the stakeholder's behavior on the base of online inquiries about tertiary / H. Kucherova, D. Ocheretin, Y. Honcharenko, O. My-koliuk // In the collection: 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2021 - Proceedings. 11. 2021. pp. 35-40.
14. Nechunaev, V. M. Risk assessment of information security of a corporate information system // Reports of TUSUR. 2009. No. 1(19). Part 2. pp. 51-53.
15. Nurdinov R.A. Model of quantitative assessment of security risks of a corporate information system based on metrics // Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. 2016. 186 p.
16. N. Lyulchenko, V. G. Shved, M. I. Ozhiganova, A. D. Kostyukov, A. N. Lyulchenko, A. D. Kostyukov, A. D. Information security, Method for quantitative assessment of damage from the impact of information security threats. Inside. - 2021. - No. 5 (101). - P. 11-15.

УДК 621.0399.009.06

Модель реализация вероятностно-цифрового измерительного контроллера для систем управления

Скрябина Е.В.[1], Михайлова О.С.[2]
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33, г. Севастополь, 299053, Россия.skryabina_ev@mail.ru, ,r_o_c_86@mail.ru

Статья поступила 27.02.2023 г.; после доработки 28.02.2023 г.

Аннотация

Рассмотрена задача построения имитационной модели вероятностно-цифрового измерительного контроллера, который может применяться в зоне повышенного уровня радиации, используя язык описания архитектуры VHDL.

Ключевые слова: вероятностно-цифровой контроллер, имитационная модель, язык описания архитектуры VHDL.

Model implementation of a probabilistic digital measuring controller for control systems

Skryabina, E.V.[1], Mikhaylova O.S.[2]
Sevastopol State University, Universitetskaya st. 33, Sevastopol, 299053, Russia. skryabina_ev@mail.ru ,r_o_c_86@mail.ru

Received 27.02.2023 г.; received in final form 28.02.2023 г.

Abstract

The problem of constructing a simulation model of a probabilistic digital measuring controller that can be used in a zone of elevated radiation levels using the VHDL architecture description language is considered

Keywords: probabilistic digital controller, simulation model, a VHDL architecture description language

Введение

Вероятностно-цифровой измерительный контроллер, имеющий много достоинств для использования его в зоне повышенного уровня радиации в системах управления и контроля на АЭС, может быть промоделирован аналитическим и имитационном методами. Имитационная модель контроллера возможно несколькими способами.

Способ построения имитационной модели возможно осуществить с помощью разработки и выполнения прошивки для микросхемы, реализующей основной функциональный узел контроллера.

Постановка задачи

Построить имитационную модель вероятностно-цифрового измерительного контроллера, который может применяться в зоне повышенного уровня радиации, используя язык описания архитектуры VHDL.

Решение задачи

Рассматривая задачу подбора среды для реализации прошивки для микросхемы вероятностно-цифрового измерительного контроллера, применимого в зоне повышенного уровня радиации, использовался язык описания архитектуры

VHDL. Данный язык является базовым языком при разработке аппаратуры современных вычислительных систем. Первоначально язык предназначался только для моделирования, но позднее из него было выделено синтезируемое подмножество. Средствами языка VHDL возможно проектировать функционирование схем на различных уровнях абстракции в соответствии с техническим заданием и предпочтением разработчика. VHDL создан как средство описания цифровых систем**.**

С помощью процессорной формы описания объекта, при котором определяется независимая последовательность операторов, которые представляют поведение проекта, была реализована прошивка микросхемы-узла контроллера. При реализации прошивки средою разработки был выбран пакет программ Xilinx ISE Design Suite 12.4.

Для реализации модели вероятностно-цифрового измерительного контроллера в первую очередь был создан генератор случайных чисел, который был уже применен для аналогичных целей. Он был разработан с возможностью задания необходимых параметров [ ].

Далее был реализован блок оценки математического ожидания и дисперсии, представленный на рисунке 1.

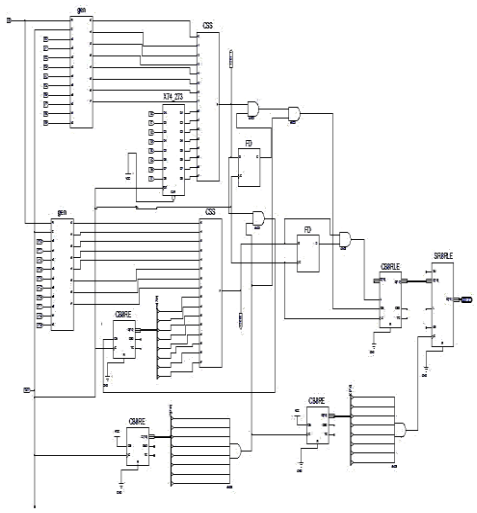


Рис. 1. Блок оценки математического ожидания и дисперсии

Полученная модель вероятностно-цифрового измерительного контроллера позволила проанализировать данные для разных количеств испытаний *K*, подтверждающих возможность реализации заданных свойств и характеристик.

В ходе выполнения работы программы устанавливаются значения соответствия полученных данных равномерному закону распределения, используя при этом методы гистограмм и вычисление значения χ-квадрат для равномерного распределения, а также устанавливаются значения стохастичности выходных данных работы модели с помощью *Poker*-теста. Полученные результаты, в случае низких значений стохастичности, свидетельствуют о том, что данные не являются случайными, и присутствует зависимость между результатами разных проверок, т.е. алгоритм выдает не случайную последовательность данных, а в соответствии с погрешностью и может генерировать данные с определенным качеством.

Высокие значения для соответствия равномерному распределению говорят о том, что при работе алгоритмов вероятностных вычислений не произошло каких-либо существенных преобразований данных, их перераспределения по другим законам распределения. Эти показатели свидетельствуют о том, что вклад вероятностного преобразования в погрешности не должен сильно превышать те же показатели для других методов вычислений.

Оценка, производимая во время корреляционного анализа, свидетельствует о том, что данные, полученные во время работы вероятностного преобразования, выдают зависимые результаты, как в аналитической модели, так и в имитационной. Эта зависимость может говорить о том, что результат работы модели корректен с доверительной вероятностью обоих тестов и может быть расценен как соответствующий реальной рабочей модели.

Таким образом, было проверено соответствие модели реальному прототипу, и оценено качество работы модели набором определенных критериев, являющихся простыми для вычисления, использующих только выходные данные работы модели.

Модельные эксперименты с аналитической [1] и имитационной моделями имеют следующие результаты, отраженные в таблице 1:

Таблица 1 Результаты моделирования арифметических операций МО и дисперсии

Арифметическая операция	Аналитическое моделирование			Имитационное моделирование		
	K=10^3	K=10^4	K=10^5	K=10^3	K=10^4	K=10^5
10+21=31	30,208	31,411	30,889	31,008	30,47	30,4
5+33=38	39,168	38,451	37,934	34,85	36,54	37,5
45-12=33	33,3	31,8	33,1	31,98	30,87	33,7

4*12=48	45,12	47,8	49,4	42,98	46,89	47,78
12/3=4	3,84	3,94	3,87	3,8	4,1	4,02

Количество испытаний при N=1000	40	50	60	70	80
МО	0,5369	0,5385	0,5386	0,5386	0,5386
Погрешность	0,0167	0,0107	0,0127	0,0127	0,0127
Объем выборки при К=10000	40	50	60	70	80
МО	0,4150	0,54100	0,54016	0,5385	0,5377
Погрешность	0,0013	0,0190	0,01149	0,0009	0,0012

Анализ результатов моделирования позволяет сделать следующие выводы:

- при максимальном быстродействии, где количество испытаний $K = K_{\min} = 1$, погрешность измерения дисперсии при вероятностном преобразовании входного сигнала становится достаточно малой при объёме выборки $N \geq 2{,}5 \cdot 10^3$, но всё же значительно превосходит аналогичную характеристику для цифрового устройства определения оценки МО и дисперсии;
- соизмеримости погрешностей для указанной длины реализации можно получить при *K=100,* что во столько же раз снижает частотный диапазон вероятностно-цифрового измерительного контроллера либо уменьшает быстродействие при его работе в реальном масштабе времени [2, 3,4].

Заключение

Выполненный анализ позволяет утверждать, что продукция популярной фирмы Xilinx, а именно пакет программ Xilinx ISE Design Suite 12.4. прекрасно подходит для реализации прошивки для микросхемы вероятностно-цифрового измерительного контролера и дает возможность получения результатов для проведения анализа его работоспособности**.**

Список литературы

1. Е. Скрябина. Средства обработки информации с первичных преобразователей и методы диагностики технического оборудования ЯЭУ. Доклад// Сборник «Десятая Международная научно-практическая конференция по атомной энергетике «Безопасность, эффективность, ресурс ЯЭУ», октябрь 2012 г Севастополь
2. Е. Скрябина. Измерительный контроллер для обработки первичной информации. Сборник научных трудов АМВС имени П.С. Нахимова, № 4 (12), 2012 г., г. Севастополь
3. Сапожников Н.Е. К вопросу о погрешности измерения математического ожидания цифро-вероятностными процессорами // Приборостроение. - Вып.16, 1974. - С.15-22
4. Сапожников Н.Е. О точности измерения дисперсии цифро-вероятностным методом // Приборостроение. - Вып.17, 1974 - С.I3-22

References

1. E. Skryabina. Means of information processing from primary converters and methods of diagnostics of technical equipment of nuclear power plants. Report / / Collection "the Tenth international scientific and practical conference on nuclear energy "Safety, efficiency, resource of nuclear power plant", October 2012 Sevastopol
2. E. Skryabina. A measurement controller for processing the primary information. Collection of scientific works of AMVS named after P. S. Nakhimov, № 4 (12), 2012, Sevastopol
3. Sapozhnikov N.E. On the question of the measurement error of mathematical expectation by digital-probabilistic processors // Instrumentation. - Issue 16, 1974. - pp.15-22
4. Sapozhnikov N.E. On the accuracy of the dispersion measurement by the digital-probabilistic method // Instrumentation. - Issue 17, 1974 - pp. I3-22

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 628.16.09

Эффективность очистки производственных сточных вод в погружных вращающихся биофильтрах

О.В. Ворник, О.В. Ведищева
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская, 33, г. Севастополь, 299253, Россия,
olga_vornik@mail.ru, OVVedisheva@sevsu.ru

Статья поступила 20.02.2023 г.; после доработки 22.02.2023 г.

Аннотация

Потребность в чистой питьевой воде является базовой необходимостью человека. Тотальная индустриализация и урбанизация привела к тому, что состояние поверхностных водоемов ежегодно ухудшается, что вызвано как большими объемами водозабора на производственные и бытовые нужды, так и сбросом больших объемов воды без предварительной очистки или очищенных недостаточно.

В статье рассматривается возможность биологических методов очистки производственных сточных вод, в частности с использованием погружного вращающегося биофильтра. Несмотря на то, что данный вид реактора для биологической очистки стоков не используется широко на территории РФ, за рубежом он достаточно популярен, особенно при очистке малых объемов высококонцентрированных стоков.

Ключевые слова: производственные сточные воды, примеси, биофильтр, нитрификация, микроорганизмы, степень очистки.

Efficiency of industrial wastewater treatment in submersible rotating biofilters

O.V. Vornik, O.V. Vedisheva
Sevastopol State University, 33 Universitetskayast., Sevastopol, 299053, Russia,
olga_vornik@mail.ru, OVVedisheva@sevsu.ru

Received 20.02.2023 y.; received in final form 22.02.2023 y.

Abstract

The need for clean drinking water is a basic human need. Total industrialization and urbanization has led to the fact that the condition of surface reservoirs deteriorates annually, which is caused by both large volumes of water intake for industrial and household needs, and the discharge of large volumes of water without pre-treatment or treated insufficiently.

The article considers the possibility of biological methods of industrial wastewater treatment, in particular using a submersible rotating biofilter. Despite the fact that this type of reactor for biological wastewater treatment is not widely used in the territory of the Russian Federation, it is quite popular abroad, especially when cleaning small volumes of highly concentrated wastewater

Keywords: industrial wastewater, impurities, biofilter, nitrification, microorganisms, degree of purification.

Введение

Еще в середине прошлого столетия стало ясно, что при сохранении текущего уровня индустриализации наиболее ценным ресурсом станет чистая питьевая вода.

Как известно, более 75% поверхности Земли

покрыто водой, но только 3% от этого количества приходится на пресную воду, при этом пригодной для питья является около 0,007% от общего объема пресной воды [1].

Помимо вышесказанного, значительной проблемой является доступность питьевой воды, которая обусловлена не только географическими особенностями регионов, но и значительным водопотреблением, несопоставимым с объемами забора воды за всю историю существования человечества.

Промышленность не только потребляет огромные объемы пресной воды, но и становится источников загрязнения водоемов, так как даже самые эффективные методы очистки не позволяют достичь абсолютно чистых стоков.

Поступление больших объемов сточных вод различного качественного и количественного состава в гидрографические сети приводит к нарушению экосистемы водоемов, утрате биоразнообразия и эвтрофикации.

Помимо непосредственного влияния на состояние экосистемы водоема, неочищенные стоки, при попадании в гидрографические сети становятся источниками многих острых заболеваний, таких как дизентерия, гепатит, холера, брюшной тиф и многих других.

Многие исследователи доказывают взаимосвязь между употреблением недостаточно чистой воды с появлением и развитием канцерогенных заболеваний [2].

Проблема поиска эффективных технологий очистки производственных стоков является актуальной проблемой современности. В связи с чем интересным является исследование эффективности биологических методов очистки производственных стоков, так как в отличие от традиционных методов очистки, использование биореакторов и биофильтров обладает явным преимуществом, таким как снижение эксплуатационных затрат и отсутствие вторичного загрязнения обрабатываемой воды.

Постановка цели и задачи исследования

Ежегодно в мире образуется более 2-х миллиардов тонн сточных вод, значительная часть которых сбрасывается в поверхностные водоемы без надлежащей степени очистки, что приводит к необратимым последствиям как для экологии региона сброса, так и непосредственно для населения проживающего на этой территории.

Производственные сточные воды в зависимости от места образования имеют самый различный качественный и количественный состав, характеризуются различными показателями уровня опасности и требуют различных технологий их очистки.

Состав сточных вод зависит от типа исходного сырья, вида производимого продукта и используемых технологий. Обычно производственные сточные воды содержат два основных типа загрязняющих веществ: неорганические (соли, ионы металлов и т.п.) и органические (углеродсодержащие соединения).

Выбор того или оного метода очистки сточных вод определяется на основании изучения состава сбросов, объемов их образования и экономической целесообразностью использования того или иного оборудования для очистки.

Результаты научного исследования

По данным Росводресурсов [3] за 2021 г. Общий забор воды на территории России, на производственные, сельскохозяйственные и бытовые нужды составил 54429,3 млн. м^3, из этого количества 6564,6 млн. м^3 составляют безвозвратные потери при транспортировке. Около 34232,3 млн. м^3 отработанной воды в 2021 г было сброшено в поверхностные водоемы, при этом 11678,2 млн. м^3 (более 34%) без очистки. По отдельным регионам и округам ситуация в целом идентична (табл. 1).

Наибольшими объемами неочищенных сбросов характеризуются следующие отрасли:

- добывающая, в частности, добыча угля – 252,7 млн. м^3, добыча металлических руд – 176,1 млн. м^3;
- производство бумаги и бумажных изделий - 699,2 млн. м^3;
- производство химических веществ – 462,7 млн. м^3;
- металлургия – 404,8 млн. м^3 [3].

Сброс неочищенных производственных стоков приводит к тому, что ежегодно в поверхностные воды поступает большое количество вредных веществ, в частности, ежегодное поступление со стоками сульфатов составляет – 4966 тыс. тонн, хлоридов – 5942 тыс. тонн, нитрат-анионов – 367 тыс. тонн, жиров и таллового масла – 1402 тыс. тонн, фенола – 19,3 тыс. тонн, свинца – 4,2 тыс. тонн, ртути и соединений – 0,02 тыс. тонн.

Сброс неочищенных производственных стоков приводит к тому, что уже сейчас около 10% населения России не имеют доступа к качественной питьевой воде. Так, по данным исследования

Роспотребнадзора за 2021 г., не отвечали нормативам:

- по санитарно-химическим показателям 30,3% проб, отобранных с водоемов I категории и 18,3% проб – водоемов II категории;
- по микробиологическим показателям 16,0% проб, отобранных с водоемов I категории и 20,2% проб – водоемов II категории;
- по радиоактивному загрязнению 0,1% проб, отобранных с водоемов I категории и 0,7% проб – водоемов II категории [4].

Таблица 1. *Забор воды для использования и сброс сточных вод за 2021 г (млн. куб. м.)*

Административная единица	Забор	Сброс		
		Общий	Загрязненных сточных вод	
			Всего	В % к общему сбросу
Центральный федеральный округ	7822,8	5636,8	2810,3	49,9
Северо-западный федеральный округ	8374,8	8541,5	2235,2	26,2
Южный федеральный округ в том числе: - Республика Крым - г. Севастополь	8775,3 294,9 54,7	4123,4 1131 29,4	988,3 96,9 24,7	24 85,7 84
Северо-Кавказский федеральный округ	9837,7	1764,4	403,4	22,9%
Приволжский федеральный округ	6388,9	4765,7	2029,5	42,6
Уральский федеральный округ	5208,8	25451	1004,6	39,5
Сибирский федеральный округ	5771,8	4863,5	1462,5	30,1
Дальневосточный федеральный округ	2249,3	1992,0	744,5	37,4
Российская Федерация всего	54429,3	34232,3	11678,2	34,1

Очевидно, что, не смотря на достаточно большое разнообразие способов и методов очистки производственных стоков, до сих пор не существует универсальной технологии их очистки. В первую очередь это связанно с неравномерностью выбросов и не постоянством их качественного и количественного состава.

Принято выделять следующие основные группы загрязнений присутствующих в сточных водах:

- физические, которые представлены песком, глиной, шламом или другими взвешенными твердыми частицами, а также органолептические загрязнители, влияющие на цвет, запах и вкус воды;

- биологические: различные виды грибов и дрожжей, водоросли, бактерии и другие микроорганизмы;

- химические (органические и неорганические вещества – кислоты, щелочи, тяжелые металлы, нефтепродукты, жиры, СПАВы);

- тепловое загрязнение;

В зависимости от состава стоков используют технологию очистки, которая представляет собой комбинацию различных физических, химических и физико-химических методов удаления загрязнений. В большинстве случаев, подбором правильной последовательности методов можно добиться достаточно высоких показателей степени очистки по тем или иным группам загрязнений. Однако большинство используемых широко методов очистки обладают такими недостатками как высокая стоимость и громоздкость оборудования, высокое энергопотребление, необходимость в высококвалифицированном персонале для обслуживания установок очистки, а также высокая вероятность вторичного загрязнения обрабатываемых стоков реагентами.

В отличие от традиционных схем очистки, использование биологических методов лишено многих указанных выше недостатков, в частности, системы очистки основанные на биологических методах, достаточно просты и экономичны в процессе сооружения и дальнейшей эксплуатации, более эффективны в отношении многих типов загрязнителей и не практически не приводят к вторичному загрязнению обрабатываемой среды.

В настоящее время для очистки сточных вод используют целый ряд биологических реакторов и биофильтров, которые отличаются как конструкцией, так и видом используемых для очистки микроорганизмов. Наибольшее распространение получили следующие виды реакторов для биологической очистки производственных стоков [5]:

- погружной вращающийся биофильтр (RBC),
- реактор с уплотненным слоем (PBR);
- реактор с псевдоожиженным слоем (FBR);

- биореактор непрерывного действия с мешалкой (CSTR);
- анаэробный реактор с восходящим потоком ила (UASB),
- мембранный биореактор (МБР);
- биореактор с динамической мембраной (DMBR);
- биореактор с мембранной дистилляцией (MDBR),
- биореактор с аэрируемой мембраной (IAMBR);
- биореактор с улучшенной мембраной (EMBR);
- фотобиореактор.

Погружной вращающийся биофильтр

Концепция биофильтра, как установки для биологической очистки бытовых стоков, была разработана еще в 1900 г. однако первое коммерческое использование было зарегистрировано только спустя более полувека в 1964 г. под названием «контактный фильтр», другое название «биологическое колесо» [4].

В современных реалиях погружной вращающийся биофильтр представляет собой устройство, работающее по принципу аэротенка и биофильтра (рис. 1) [6].

Основными конструкционными элементами сооружения являются:

- резервуар биофильтра;
- вращающийся ротор с загрузкой;
- механический или пневматический двигатель;
- лотки для сбора очищенной и поступающей на очистку воды.

В зависимости от необходимой степени очистки, количество установок может варьироваться в широких пределах.

Загрузка фильтра представлена совокупностью дисков, на поверхности которых образуется биопленка. Как правило, диски выполняют из прочного пластика (полиэтилена, поливинилхлорида или полистирола). Диаметр дисков в зависимости от конкретной модели может быть от 06 до 3 м, скорость вращения определяется экспериментально и составляет обычно от 1 до 2 об/мин. В зависимости от характера примесей и типа микроорганизмов в загрузке, уровень погружения может составлять от 40до 80%.

Биофильтр работает следующим образом. Вал приводит в движение диски, которые с целью увеличения поверхности имеют рифлёную или сетчатую структуру. Поверхность дисков позволяет прикрепляются на их поверхности микроорганизмам, которые при попеременном погружении в очищаемую среду образуют плотную биопленку. При движении дисков, бактерии адсорбируют необходимый для их роста кислород из воздуха. Питательные вещества для роста бактерий поступают из сточных вод.



Рис. 1. Очистка производственных сточных вод с помощью погружного вращающегося биофильтра: 1 – внешний вид фильтрующей загрузки; 2,3 – очистной комплекс из нескольких установок.

В процессе жизнедеятельности бактерий происходит деструкция органических компонентов-загрязнителей с образованием углекислого газа, избыток которого выбрасывается в атмосферу. При обработке азотосодержащих загрязненных сточных вод, процесс очистки состоит из процесса нитрификации, с последующим процессом денитрификации, что в конечном итоге заканчивается образованием свободного азота, который также сбрасывается в атмосферу.

Процесс нитрификации состоит в микробиологическом окислении аммиака до азотистой кислоты с последующим окислением до азотной кислоты:

$2NH_3+3O_2 \rightarrow 2HNO_3+H_2O$

$2HNO_3+ O_2 \rightarrow 2HNO_3$

Денитрификация – процесс восстановления азота в менее окисленную форму:

$$NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$$

В зависимости от типа бактерий и микроорганизмов, которые формируют биопленку процессы, происходящие на поверхности дисков биофильтра, могут быть различными.

В работе [7] проводилось исследование

очистки производственных сточных вод с использованием грибов белой гнили. Результаты эксперимента показали высокую эффективность (более 75%) в удалении общего органического углерода.

Имеются сведения по очистке сточных вод текстильной промышленности во вращающихся биофильтрах с помощью нитчатых грибов [8]. В результате установлено, что эффективность снижения концентрации фенола составляет 83%, химическое потребление кислорода (ХПК) снизилось на 84%, общее содержание красителей снижено на 60%.

Достаточно хорошие результаты получены при очистке производственных стоков золотообогатительных комбинатов. Как известно процесс выщелачивания золота из руд сопряжен с образованием большого количества цианид содержащих стоков, сброс которых без предварительной очистки вызывает пагубное токсическое воздействие на водные организмы.

Как показали результаты исследования [9], использование, бактерии вида Agrobacterium tumefaciens, обеспечивают очистку от цианистых соединений на уровне 96%.

Таким образом, анализ многих исследований подтверждает эффективность включения вращающихся биофильтров в технологические схемы очистки стоков на многих производственных предприятиях, в широком диапазоне отраслей.

Помимо высокой эффективности, погружные вращающиеся биофильтры имеют следующие преимущества:

- отсутствие осадка и необходимости его утилизации;
- большая ударная нагрузка;
- малое энергопотребление;
- невысокий уровень шума при работе установки;
- простота сооружения и обслуживания.

Заключение

Эффективная очистка производственных сточных вод всегда является актуальной задачей экологической безопасности.

Как показывает практика и накопленный экспериментальный опыт большинство традиционных методов очистки производственных стоков не обладают достаточной эффективностью и гибкостью по отношению к стремительно меняющимся производственным технологиям, а многие из них не предусмотрены для очистки производственных сточных вод сложного, многокомпонентного состава.

Биологические методы очистки напротив, позволяют достаточно эффективно удалять некоторые специфические типы загрязнителей и могут быть достаточно быстро изменены под конкретный качественный состав стоков.

Погружной вращающийся биофильтр прост в обслуживании, характеризуется высокой эффективностью и малым потреблением энергоресурсов, что дает ему массу преимуществ при проектировании схем очистки производственных стоков.

Список литературы

1. Petersen, L., Heynen, M. and Pellicciotti, F. (2016) Freshwater resources: past, present, future. International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology. pp. 1–12.
2. Soni-Bains, N.K., Singh, A., Kaur, J., Pokharia, A. and Ahluwalia, S.S. (2017) Perspectives of bioreactors in wastewater treatment. Advances in Environmental Biotechnology ed. Kumar, R., Sharma, A.K. and Ahluwalia, S.S. pp. 53–68. Singapore: Springer Nature Cham.
3. Федеральная служба государственной статистики (Росстат), «Основные показатели охраны окружающей среды, статистический бюллетень», М.: 2021 г.
4. Федеральная служба государственной статистики (Росстат), «Охрана окружающей среды в России, статистический сборник», М.: 2022 г.
5. Hynek, R.J., Chou, C.C.S., 1979. Development and performance of air-driven rotating biological contactors. In: Proceedings of the Third International Waste Conference, Purdue University, West Lafayette, IN, pp. 805–815.
6. Meena, M., Sonigra, P., Yadav, G. and Barupal, T. (2021) Removal of emerging contaminants through microbial processes. In Wastewater Treatment Techniques: An Introduction, ed. Shah, M.P. pp. 161–182. Singapore: Springer.
7. del Alamo, A.C., Pariente, M.I., Martınez, F. and Molina, R. (2020) Trametes versicolor immobilized on rotating biological contactors as alternative biological treatment for the removal of emerging concern micropollutants. Water Res 170, 115313.
8. Vergara-Fernandez, A., Dıaz-Robles, L., San Martin-Davison, J. and Petit-Breuilh, X. (2017) Treatment of pulp mill wastewaters with Fusarium solani in a rotating biological contactor. Environ Eng Manage J 16, 2275–2281.
9. Kiran, M.G., Pakshirajan, K. and Das, G. (2018) Metallic wastewater treatment by sulfate reduction using anaerobic rotating biological contactor reactor under high metal loading conditions. Front Environ Sci Eng 12, 12.

References

1. Petersen, L., Heynen, M. and Pellicciotti, F. (2016) Freshwater resources: past, present, fu-ture. International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology. pp. 1–12.
2. Soni-Bains, N.K., Singh, A., Kaur, J., Pokharia, A. and Ahluwalia, S.S. (2017) Perspectives of biore-actors in wastewater treatment. Advances in En-vironmental Biotechnology ed. Kumar, R., Shar-ma, A.K. and Ahluwalia, S.S. pp. 53–68. Singapore: Springer Nature Cham.
3. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj stati-stiki (Rosstat), «Osnovnye pokazateli ohrany okruzhayushchej sredy, statisticheskij byulle-ten'», M.: 2021 g.
4. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj stati-stiki (Rosstat), «Ohrana okruzhayushchej sredy v Rossii, statisticheskij sbornik», M.: 2022 g.
5. Hynek, R.J., Chou, C.C.S., 1979. Development and performance of air-driven rotating biological contactors. In: Proceedings of the Third Interna-tional Waste Conference, Purdue University, West Lafayette, IN, pp. 805–815.
6. Meena, M., Sonigra, P., Yadav, G. and Barupal, T. (2021) Removal of emerging contaminants through microbial processes. In Wastewater Treatment Techniques: An Introduction, ed. Shah, M.P. pp. 161–182. Singapore: Springer.
7. del Alamo, A.C., Pariente, M.I., Martınez, F. and Molina, R. (2020) Trametes versicolor immobilized on rotating biological contactors as alternative biological treatment for the removal of emerging concern micropollutants. Water Res 170, 115313.
8. Vergara-Fernandez, A., Dıaz-Robles, L., San Martin-Davison, J. and Petit-Breuilh, X. (2017) Treatment of pulp mill wastewaters with Fusarium solani in a rotating biological contactor. Environ Eng Manage J 16, 2275–2281.
9. Kiran, M.G., Pakshirajan, K. and Das, G. (2018) Metallic wastewater treatment by sulfate reduction using anaerobic rotating biological contactor reactor under high metal loading conditions. Front Environ Sci Eng 12, 12.

УДК.66.07

Карбонатное выщелачивание урана

С.А. Котельникова, А.М. Акимов
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33, г. Севастополь, 299053, Россия, e-mail*: cvetlana.83@inbox.ru*

Статья поступила 07.02.2023 г.; после доработки 09.02.2023 г.

Аннотация

Приведены исследования карбонатного кучного выщелачивания урана. В зависимости от способа применения процесс карбонатного выщелачивания может быть осуществлен в различных вариантах: скорость растворения урана регулируется концентрацией гидрокарбоната, гидрокарбонат-ионы в растворе могут быть получены при взаимодействии растворенного в воде углекислого газа с карбонатными минералами вмещающих пород или при взаимодействии серной кислоты с карбонат содержащими минералами вмещающих пород.

Ключевые слова: кучное выщелачивание, карбонатный комплекс, карбонатный способ выщелачивания.

Carbonate leaching of uranium

S.A. Kotelnikova, A.M Akimov
Sevastopol state University, Sevastopol, 299002 Russiae-mail:cvetlana.83@inbox.ru)

Received 07.02.2023 y.; received in final form 09.02.2023 y.

Abstract

Studies of carbonate heap leaching of uranium are presented. Depending on the method of application, the carbonate leaching process can be carried out in various ways: the rate of uranium solution is regulated by the concentration of bicarbonate, bicarbonate ions in solution can be obtained by the interaction of carbon dioxide dissolved in water with carbonate minerals of host rocks or by the interaction of sulfuric acid with carbonate-containing minerals of host rocks.

Keywords: heap leaching, carbonate complex, carbonate leaching method

Введение

В настоящее время в уранодобывающих странах, большое внимание уделяется горным отвалам уранодобывающих предприятий, пригодных для извлечения урана методом кучного выщелачивания (КВ).

Не исключена возможность выявления хвостов с высоким содержанием карбонатосодержащих минералов, что практически исключает возможность их переработки сернокислотными растворами.

Несмотря на недостатки карбонатного способа выщелачивания, он обладает определенными достоинствами, что делает его в определенных условиях предпочтительным.

Рассмотрим основные характеристики карбонатного способа.

Недостатки:

1) невысокая степень извлечения урана из рудных отвалов (ε = 50-60%);
2) пониженная кинетика растворения урановых минералов (при ε = 60% Ж:Т = 4-6);
3) обязательное использование окислителя;
4) невысокая концентрация урана в продуктивных растворах;
5) переход ^{226}Ra в технологические растворы, что влечет за собой комплекс технических мероприятий по его осаждению в специальных фильтрах.

Достоинства:

1) возможность отработки руд с повышенным

содержанием карбонатов (CO_2 > 2%);
2) селективное извлечение из руд ограниченного количества элементов, способствующее успешной переработке растворов на сорбционном комплексе;
3) возможность использования материалов и оборудования в обычном исполнении;
4) незначительное повышение общей минерализации продуктивных растворов.

Постановка цели и задач научного исследования

Рассмотрим различные варианты применения растворителей урана, которые могут быть использованы в условиях урановых месторождений.

В отличие от гидрометаллургического способа выщелачивания урана в заводских условиях, где в качестве растворителя применяется смесь карбоната и бикарбоната натрия, при КВ используют бикарбонатсодержащие соли, имеющие более низкое значение pH растворов, что меньше сказывается на набухании глинистых составляющих вмещающих пород и фильтрации растворов [1].

Реакции взаимодействия диоксида урана и коффинита с бикарбонатами протекают по следующим уравнениям:

$$UO_2 + 4H_2CO_3 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow \left[UO_2\left(CO_3\right)_3\right]^{4-} + 2H_2O + CO_2 \quad (1)$$

$$USiO_4 + 4H_2CO_3 + \frac{1}{4}O_2 \rightarrow \left[UO_2\left(CO_3\right)_3\right]^{4-} + SiO_2 + 2H_2O + CO_2. \quad (2)$$

Образующаяся по этой реакции углекислота реагирует с карбонатсодержащими вмещающими породами с образованием бикарбонатиона:

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \rightarrow Ca\left(HCO_3\right)_3, \quad (3)$$

что позволяет вернуть в процесс 2 моля бикарбоната.

Процесс взаимодействия требует обязательного присутствия окислителя в выщелачивающем растворе.

Присутствующие в руде минералы вмещающих пород практически не взаимодействуют с растворителем. Однако сульфидные минералы (пирит, молибденит и др.) вступают во взаимодействие с окислителем, приводя к увеличению его расхода и загрязнению растворов продуктами взаимодействия (сульфатами, тиосульфатами).

Взаимодействие пирита в карбонатной среде осуществляется по следующей заключительной стадии реакции:

$$2FeS_2 + 4Na_2CO_3 + 7.5O_2 + 5H_2O \rightarrow \rightarrow 2FeOOH + 4Na_2SO_4 + 8NaHCO_3. \quad (4)$$

Молибденит реагирует по уравнению:

$$MoS_2 + 4Na_2CO_3 + 2.5O_2 + 2H_2O \rightarrow \rightarrow Na_2S_2O_3 + 4NaHCO_3. \quad (5)$$

Приведенные реакции показывают, что на окисление 1 кг урана расходуется 0,067 кг кислорода, а на окисление 1 кг молибдена и серы соответственно 0,834 и 1,87 кг, т.е. в 12,4 и 28 раз больше, чем на окисление урана.

Результаты научного исследования

Как показывают экспериментальные исследования, скорость окисления урана и молибдена значительно выше, чем пирита, что и используется в практике карбонатного КВ с помощью системы размещения технологических скважин.

Установлено, что наиболее медленной стадией в процессе карбонатного выщелачивания является стадия окисления четырехвалентного урана в шести валентную форму, образующую с анионом растворителя карбонатный комплекс.

Таким образом, в условиях кучного выщелачивания фактором, контролирующим длительность процесса выщелачивания, являются время подвода окислителя в зону реакции и время окисления.

Процесс же растворения урана протекает с высокой скоростью. По мере извлечения урана из продуктивных растворов в зумпф подаются растворитель и окислитель, что способствует продвижению границы зоны выщелачивания к сорбционной колонне, а реагирующие сульфиды потребляют окислитель в возрастающих количествах. Это уменьшает долю окислителя, расходуемого непосредственно на окисление урановых минералов, и снижает концентрацию урана в продуктивных растворах.

В связи с вышеизложенным, становится понятным стремление иметь в растворе более высокие концентрации окислителя. Как видно из уравнений (1) и (2), в реакции взаимодействия минералов урана с растворителем принимает участие анион соли бикарбонат-ион HCO_3. Катион соли может быть любым, но обычно в этой роли выступают катионы щелочных (K, Na) и

щелочноземельных (Са) металлов и аммония.

В зависимости от способа применения растворителя, образующего растворимый комплекс уранила $[UO_2(CO_3)_3]_4$, процесс карбонатного выщелачивания может быть осуществлен в различных вариантах, рассматриваемых ниже.

1. Воды гидрогенных месторождений содержат гидрокарбонат-ион HCO_3^-. Ионы HCO_3 преобладают в нейтральных и слабо щелочных водах, в которых их содержание достигает 200-250 мг/л; 1 мг HCO_3-иона способен связать в карбонатный комплекс 1 мг урана. Следовательно, при благоприятных условиях взаимодействия теоретически можно получить в растворе концентрацию урана, равную концентрации бикарбонат-иона.

Однако в чистом виде процесс осуществить не удается, так как при этом концентрация бикарбоната пополняется за счет взаимодействия пирита с окислителем. Низкая начальная концентрация бикарбонат-иона замедляет скорость взаимодействия растворителя с минералами урана, приводит к увеличению продолжительности отработки и повышению расхода окислителя.

2. Скорость растворения урана зависит от концентрации гидрокарбоната. Чтобы повысить скорость растворения, создать более благоприятные условия взаимодействия растворителя с минералами урана, необходимо увеличить концентрацию бикарбоната в выщелачивающем растворе. Увеличение концентрации бикарбоната с 0,2 до 2,0 г/л повышает скорость растворения в 3 раза, а до 25 г/л на порядок.

Как показали проведенные исследования, концентрация бикарбоната в растворе 1-2 г/л является достаточной для достижения удовлетворительной скорости извлечения урана. Солями, содержащими бикарбонат-ион, которые могут использоваться для карбонатного КВ, являются бикарбонаты натрия, калия и аммония.

Использование карбонат содержащих солей требует предварительного умягчения пластовых вод с целью освобождения их от солей жесткости во избежание кольматации порового пространства образующимся карбонатом кальция и гидроксидом магния.

3. Ионы гидрокарбоната в растворе могут быть получены взаимодействием растворенного в водах углекислого газа с карбонатными минералами вмещающих пород по реакции (3). Растворимость углекислого газа в воде в нормальных условиях составляет 1,69 г/л. Чтобы получить в растворе по реакции (3) концентрацию бикарбонат-иона, равную 2 г/л, надо затратить 0,7 г/л углекислого газа. Естественно, что этот метод применим только к рудам, содержащим карбонаты - источник получения гидрокарбоната в растворе. Метод карбонатного выщелачивания с использованием углекислого газа не требует предварительной водоподготовки, что обеспечивает ему преимущества по сравнению со способом выщелачивания с добавками минеральных солей.

4. Ион гидрокарбоната в растворе может быть получен взаимодействием минеральной кислоты, например серной, с карбонат содержащими минералами вмещающих пород по уравнению

$$Ca(Mg)CO_3 + H_2SO_4 \rightarrow Ca(Mg)SO_4 + H_2CO_3. \quad (6)$$

Далее взаимодействие осуществляется по реакции (3).

Этот метод отличается простотой исполнения, так как во взаимодействии участвуют однородные жидкие системы. Полученные в растворе 1,2 г гидрокарбоната может обеспечить 1 г серной кислоты. Метод применим к рудам, содержащим карбонаты. Оптимальная концентрация серной кислоты в растворе, поступающем на выщелачивание, должна составлять 1-2 г/л. Использование серной кислоты как инициатора получения бикарбоната в растворе приводит к накоплению сульфат-иона в оборотных растворах.

5. Для промышленного применения может быть использован вариант карбонатного способа, основанный на взаимодействии угольной кислоты, получающейся при взаимодействии бикарбоната пластовых вод с минеральной кислотой, с карбонат содержащими вмещающими породами, при этом происходят следующие реакции:

$$Ca(HCO_3)_2 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + 2H_2CO_3, \quad (7)$$

$$2CaCO_{3(тв)} + 2H_2CO_3 \rightarrow 2Ca(HCO_3)_{2(р)}. \quad (8)$$

Как видно из уравнения реакции (7), из 1 моля HCO_3^- по реакции (8) можно получить 2 моля гидрокарбоната, т.е. увеличить концентрацию гидрокарбоната вдвое. На 2 моля гидрокарбоната требуется затратить 1 моль серной кислоты.

Карбонатный способ выщелачивания применим к любым рудам гидрогенных месторождений и не зависит от содержания в них карбонатов. Выбор конкретной разновидности карбонатного выщелачивания определяется содержанием карбонатных минералов во вмещающих породах.

Как следует из реакции (1), взаимодействие

урановых минералов низких степеней окисления с бикарбонат-ионом происходит только в присутствии окислителя, в качестве которого обычно применяют перекись водорода или кислород, как наиболее дешевый и экологически чистый реагент. 1 мг кислорода способен окислить 15 мг урана. Кислород одновременно затрачивается на окисление сульфидных минералов. Чтобы реакция проходила в направлении эффективного окисления и последующего растворения урановых минералов необходимо в растворе поддерживать достаточную концентрацию кислорода.

При нормальных условиях в воде растворяется 7,3 мг/л кислорода воздуха. В тех же условиях растворимость газообразного технического кислорода составляет 43,4 мг/л. С целью поддержания высокой скорости растворения концентрацию растворенного кислорода в растворе следует поддерживать на уровне 200-300 мг / л. Такая растворимость технического кислорода достигается при давлении ~5 МПа, а кислорода воздуха – при давлении более 30 МПа.

Расход реагентов при карбонатном способе кучного выщелачивания находится в следующих пределах: растворителя – 1,5-2,0 кг и окислителя (кислорода) 0,5 кг на 1 т горнорудной массы.

В связи с невысокими расходами реагентов, часть из которых является экологически чистыми (кислород), солевой состав карбонатных растворов после выщелачивания содержит 5-6 г/л солей. Однако карбонатные растворители переводят в раствор часть радия, что требует соответствующих мер по его улавливанию. В частности, вопросы отделения радия могут быть решены установкой фильтра гравийной обсыпки из баритового материала при сборе продуктивного раствора из кучи перед зумпфом.

Заключение

Анализ результатов, полученных при исследовании карбонатного кучного выщелачивания урана, позволяет сделать следующие выводы:

1. Карбонатные растворы легче вскрывают вторичные урановые минералы.
2. Скорость растворения урана зависит от концентрации гидрокарбоната.
3. Ион гидрокарбоната в растворе может быть получен взаимодействием минеральной кислоты, например, серной, с карбонат содержащими минералами вмещающих пород.
4. Для промышленного применения может быть использован вариант карбонатного способа, основанный на взаимодействии угольной кислоты, получающейся при взаимодействии бикарбоната вод с минеральной кислотой, с карбонат содержащими вмещающими породами.

Список литературы

1. Справочник по геотехнологии урана/Под ред. проф. Д.И. Скороварова. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 672 с.
2. Акимов А.М., Магдыч Е.А., Котельникова С.А. Химическая технология переработки урановых руд: монография. Севастополь: Изд-во СНУЯЭиП, 2019. 325 с.

References

1. Handbook of Uranium Geotechnology/Edited by prof. D.I. Skorovarov. – M.: Energoatomizdat, 1997. – 672 p.
2. Akimov A.M., Magdych E.A., Kotelnikova S.A. Chemical technology of uranium ore processing: monograph. Sevastopol: Publishing house of SNUYEiP, 2019. 325 p.

УДК 533.9.07

Синтез углеродных нанолуковиц воздействием дугового разряда на резинотехнические отходы в открытой воздушной среде

А.Я. Пак[1], К.Б. Ларионов[1,2], Г.В. Арышева [1], С.А. Янковский[1,2], П.В. Поваляев[1,2]

[1] Национальный исследовательский Томский политехнический университет, пр. Ленина 30, г. Томск, 634050, Россия, ayapak@tpu.ru, larryk@tpu.ru, arysheva@tpu.ru, jankovsky@tpu.ru, pvp13@tpu.ru

[2]Кузбасский государственный технический университет, ул. Весенняя 28, г. Кемерово, 650000, Россия

Статья поступила 20.02.2023 г.; после доработки 22.02.2023 г.

Аннотация

В работе представлены результаты экспериментальных исследований по реализации синтеза углеродных нанолуковиц воздействием дугового разряда постоянного тока на резинотехнические отходы. Особенностью используемого подхода является генерация дугового разряда в открытой воздушной среде, при этом процесс синтеза углеродных нанолуковиц проходит в автономной газовой среде, которая формируется из метана, водорода, угарного и углекислого газов в процессе термического разложения резинотехнических отходов.

Ключевые слова: углеродные нанолуковицы, электродуговой синтез, автономная газовая среда, резинотехнические отходы.

Synthesis of carbon nano-onions by DC arc dis-charge from rubber waste in an open-air environment

A.Ya. Pak, K.B. Larionov, G.V. Arysheva, S.A. Yankovsky, P.V. Povalyaev

[1] National Research Tomsk Polytechnic University, 30 Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russia, ayapak@tpu.ru, larryk@tpu.ru, arysheva@tpu.ru, jankovsky@tpu.ru, pvp13@tpu.ru

[2] Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya street, Kemerovo, 650026, Russia

Received 20.02.2023 y.; received in final form 22.02.2023 y.

Введение

Углеродные луковицы являются известным морфологическим типом углеродных наноструктур, которые представляют собой многослойные фуллерены круглой формы, состоящие из нескольких слоев графеновых листов. Известен широкий спектр применения углеродных нанолуковиц во многих отраслях промышленности, нанолуковицы могут применяться в составе фотокатализаторов различного назначения, материалов с высоким коэффициентом поглощения электромагнитного излучения, в качестве компонентов накопителей энергии [1-3]. Также стоит отметить то, что нанолуковицы обладают высокой проводимостью. В настоящее время известен ряд подходов к синтезу углеродных нанолуковиц: генерация плазмы дугового разряда между графитовыми электродами, использование радиочастотной плазмы, осаждение из паровой фазы, отжиг наноалмазов [4]. Актуально стоит вопрос упрощения и удешевления методов синтеза углеродных нанолуковиц. В последние годы активно развивается направление, связанное с реализацией синтеза углеродных наноматериалов под действием дугового разряда постоянного тока в открытой воздушной среде [5]. Такой подход уже реализован в методах получения некоторых углеродных наноструктур, в частности, углеродных нанотрубок [6]. Синтез фактически проходит в автономной газовой среде, которая формируется из газов монооксида и диоксида уг-

лерода [7], что позволяет не использовать вакуумное и газовое оборудование для создания рабочей газовой среды в процессе синтеза. Другим важным направлением развития технологий получения углеродных нанолуковиц является использование доступного исходного сырья, например, биомассы [1], отходов различного происхождения, в частности, автомобильных покрышек [8].

Постановка задачи и целей исследования

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований, показывающих возможность получения углеродных нанолуковиц воздействием дугового разряда постоянного тока в открытой воздушной среде на резинотехнические отходы в виде изношенных автомобильных автомобильных шин.

Серия экспериментов проводилась на лабораторном атмосферном плазменном дуговом реакторе (рис. 1) с вертикальным расположением электродов [9]. В качестве источника питания использовался регулируемый выпрямительно-инверторный преобразователь с диапазоном рабочих токов от 20 А до 200 А. В качестве анода использовался сплошной графитовый стержень, в качестве катода – графитовый тигель, на дно которого загружался образец изношенных автомобильных покрышек в количестве 0,5 гр. Графитовый тигель (катод) закреплялся в токоведущем контакте неподвижно, к токоведущему контакту подключается отрицательный выход источника питания. В свою очередь графитовый стержень (анод) также закреплялся в токоведущем держателе, куда был подключен положительный вывод источника питания. Позиционирование анода осуществлялось с использованием линейного электропривода.

В ходе исследования было проведено несколько серий экспериментов с изменением силы тока на источнике питания (от 50 А до 200 А с шагом 50 А) при времени воздействия дугового разряда на исходное сырье от 5,0 с до 10,0 с. Анализ энергетических характеристик рабочего цикла дугового реактора производился при помощи двухканального осциллографа (Rigol 1052E). Регистрация показаний силы тока при работы электродугового реактора реализована с использованием датчика тока марки CSLA1DJ, принцип работы которого основан на эффекте Холла (максимальный допустимы ток 225 А). Регистрация значения напряжения на электродах реализована с использованием омического делителя напряжения (рабочий диапазон делителя 0 – 120 В). Анализ газовой среды проводился при помощи поточного газового анализатора (ТЕСТ-1, Бонэр). Полученный материал собирался с поверхности полимерного уловителя, выполненного в форме воронки и установленного над катодом, а также боковых стенок катода.

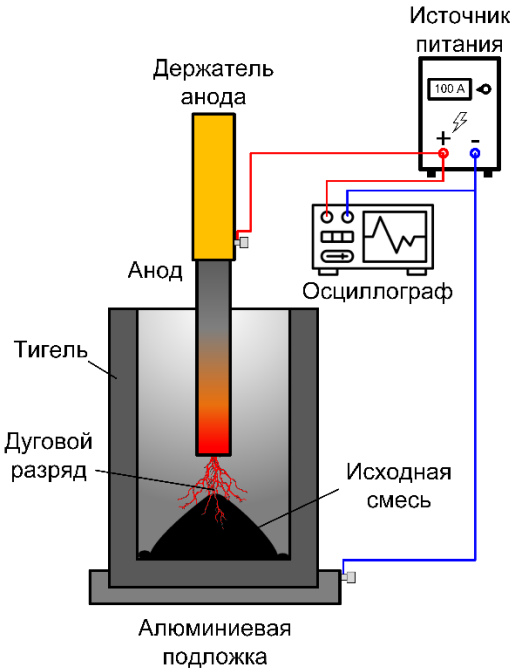


Рис. 1. Безвакуумный электродуговой реактор постоянного тока с вертикальным расположением электродов

Полученный материал анализировался методами растровой (Tescan Vega 3 SBU с энергодисперсионным анализатором Oxford X-Max-50, JEOL JSM-6460LV) и просвечивающей (JEOL JEM 2100F) электронной микроскопии. Для проведения просвечивающей электронной микроскопии готовилась спиртовая суспензия, которая наносилась на специальную медную сетку, покрытую аморфной углеродной пленкой. Также был исследован процесс окисления об-разца с помощью термического анализатора STA 449 C Jupiter (Netzsch, Германия) в среде воздуха (150 мл/мин) со скоростью нагрева 10 °C/мин до 1000 °C.

Результаты исследований

На рис. 1а представлены типичные зарегистрированные осциллограммы тока и напряжения.

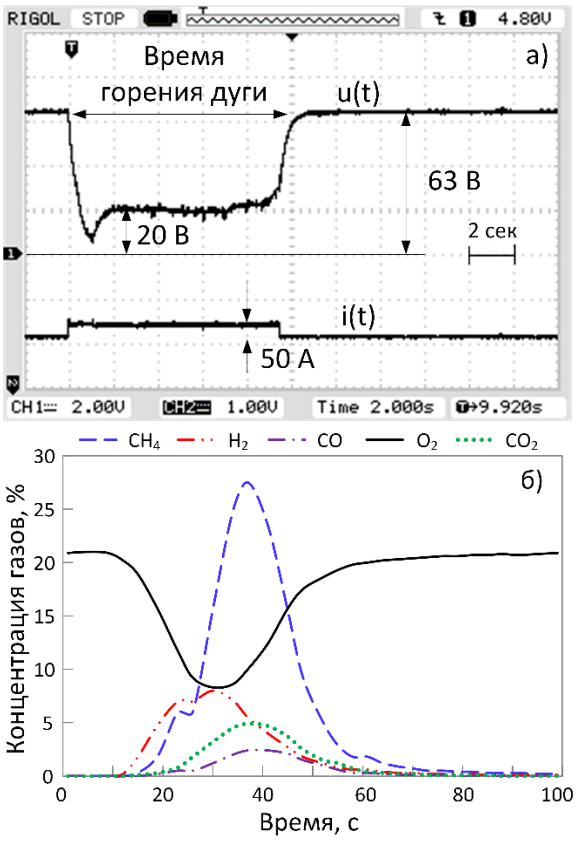


Рис. 2. Типичные осциллограммы тока i(t) и напряжения u(t) (а), типичные зависимости концентраций газов генерирующейся автономной атмосферы от времени.

На осциллограммах можно выделить три основные стадии процесса: 1. инициирование разряда, 2. горение дугового разряда, 3. погасание разряда с восстановлением диэлектрической прочности разрядного промежутка. В начальный момент времени напряжение на электродах равно разности потенциалов источника питания (~63 В). В момент соприкосновения электродов для инициирования разряда напряжение снижается до ~8-10 В, затем поднимается до напряжения дуговой стадии ~20 В. При угасании дугового разряда напряжение поднимается до разности потенциалов источника питания. Средняя мощность дугового разряда, оцененная по данным осциллограмм тока и напряжения, составила от 1,0 кВт до 4,0 кВт в зависимости от силы тока.

По данным газового анализа установлено (рис. 2б), что в процессе горения дугового разряда и термического разложения резинотехнических отходов происходит окисление углерода с образованием CO и CO2, а также происходит выделение метана CH4 и водорода H2. Ввиду того, что система сбора газов негерметична ввиду особенностей применяемого метода, газоанализатор также захватывает атмосферный воздух. По этой причине следует считать завышенной концентрацию кислорода и заниженной концентрации других газов, в целом эти данные следует считать качественными, а не количественными. Тем не менее, на представленном примере виден состав формирующейся автономной газовой среды. При этом возможность получения разрабатываемым методом из резинотехнических отходов помимо ультрадисперсного углерода газового продукта, содержащего водород и метан, является существенным достоинством метода [10].

По результатам растровой электронной микроскопии (рис. 3а) полученный материал состоит из частиц округлой формы преимущественно с размерами менее 100 нм. Частицы агломерированы, в теле агломератов просматриваются поры с размерами до порядка 1 μм. По данным энергодисперсионного анализа (по данным не менее 25 измерений) материал содержит 91,1 % углерода, 3,6 % кислорода, 1,4 % цинка, 1,2 % серы, 0,8 % кремния, до 1,9 % прочих химических элементов (суммарно).

Присутствие кислорода представляется нормальным ввиду хранения образцов воздушной среде. Наличие цинка и серы обусловлено наличием этих химических элементов в составе автомобильных покрышек. Присутствие кремния и других широко распространенных элементов следует считать нормальным ввиду возможного присутствия множества химических элементов в резинотехнических отходах, представляющих собой изношенные автомобильные покрышки.

По данным просвечивающей электронной микроскопии (рис. 3б) основной объем материала представляют округлые частицы с размерами от ~10 нм до ~100 нм с максимумом распределения около 20-40 нм. На типичной картине дифракции электронов (рис. 3в) можно отчетливо выделить три размытых кольца, которые соответствуют межплоскостным расстояниям 3.75 Å (среднеквадратичное отклонение 0,14 Å), 2,14 Å (среднеквадратичное отклонение 0,04 Å), 1,26 Å (среднеквадратичное отклонение 0,01 Å). Такая структура в пределах возможных погрешностей соответствует графитоподобной структуре, характерной для углеродных нанолуковиц. При этом увеличенное межплоскостное расстояние относительно типичного для графита нередко наблюдается при анализе структуры и морфологии углеродных наноструктур, в частности, угле-

родных нанолуковиц [11]. Также можно идентифицировать слабые отдельные рефлексы, соответствующие межплоскостным расстояниями d≈3.30 Å и d≈1.99 Å, что близко к структуре графита (например, эталону № 04-015-0267).

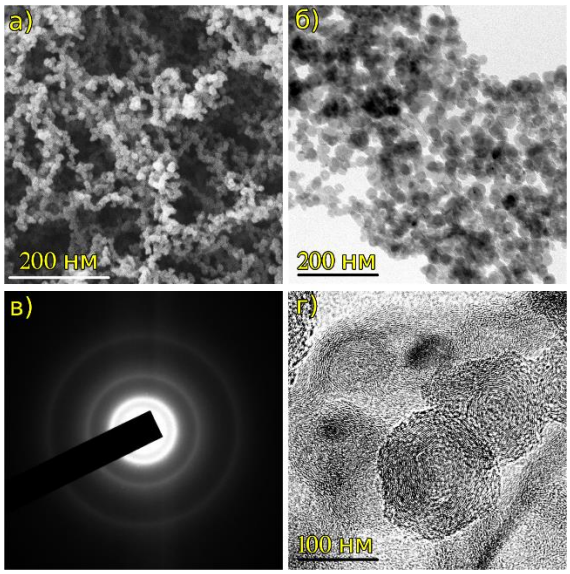


Рис. 3. Результаты электронной микроскопии: (а) снимок с растрового электронного микроскопии скопления нанолуковиц, (б) обзорный снимок просвечивающего электронного микроскопа, (в) картина дифракции электронов, (г) снимок в режиме прямого разрешения углеродной нанолуковицы.

По снимку в режиме прямого разрешения видно, что обсуждаемые частицы практически очевидно являются углеродными нанолуковицами. В работе [12] представлен ряд снимков, которые описывают несколько разновидностей углеродных нанолуковиц: с полостью внутри, без полости, с практически округлой формой, с формой выпуклого многоугольника на снимках. В работе [4] формирование различных типов углеродных нанолуковиц связывают с зоной их формирования в температурном поле дугового разряда и наличием тех или иных катализаторов роста. В данном исследовании, аналогично, имеет место быть высокий градиент температур, а также в небольших количествах (как отмечалось выше) могут быть примеси, источником которых в первую очередь являются резинотехнические отходы. По снимкам в режиме прямого разрешения установлено (рис. 2d), что межслоевое расстояние в луковицах составляет ~1.9 Å, что меньше, характерного для графита и углеродных нанотрубок. Уменьшенная относительно графита величина межслоевого расстояния согласуется с известными литературными данными и отмечается в ряде работ, например, в работе [10]. Следует отметить, что не обнаружены морфологические различия в продуктах, полученных при различной мощности дугового разряда, в этой связи следует считать, в целях снижения энергоемкости процесса следует осуществлять процесс при минимальной силе тока разрядного контура (50 А).

На рисунке 4 представлены результаты термического анализа исследуемого образца углеродных нанолоуковиц.

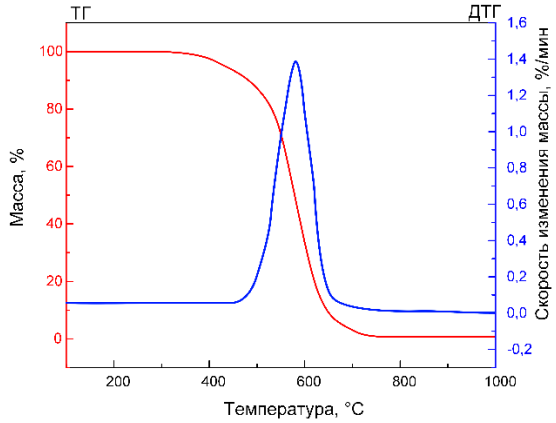


Рис. 4. Данные ТГ и ДТГ процесса термического разложения углеродных нанолуковиц в среде воздуха. Расход газа - 150 мл/мин, скорость нагрева 10 °С/мин.

Из рисунка 4 видно, что процесс окисления углеродных нанолуковиц протекает в температурном интервале 457 - 686 °С с полной потерей реагирующей массы. Значения характерных температур процесса окисления (начала T_i и окончания T_f) коррелируют с данными термического анализа для других высокоуглеродистых материалов, таких как антрацит, графит [13] или технический углерода [14].

Профиль ДТГ (рис. 4) имеет мономодальную форму со значением экстремума (максимальная скорость реакции окисления w_{max}) - 1,4 мас.%/мин и определяется при температуре T_{max} = 594 °С.

Выводы

По совокупности представленных данных можно сделать вывод о возможности синтеза углеродных нанолуковиц в ходе термического разложения резинотехнических отходов, а именно, автомобильных покрышек. Совмещение процессов плазменной переработки отходов с синтезом важных для науки и техники материалов является практически важным результатом. При этом особенностью применяемого подхода является

реализация процесса без специального вакуумного и газового оборудования, что существенно упрощает методику, повышает энергоэффективность процесса синтеза. Фактически дуговой разряд формирует автономную область, содержащую CO, CO2, CH4, H2, которая служит газовым барьером и предотвращает окисление формирующихся углеродных наноструктур. Формирование газовой среды, содержащей CO, CH4 и H2 является также важным практическим результатом ввиду возможности их использования в различных энергетических или химических технологиях, что может в дальнейшем повысить интегральный коэффициент полезного действия изложенного метода.

По данным термического анализа установлено, что окисление углеродных нанолуковиц протекает с полной потерей реагирующей массы и в аналогичных температурных интервалах, как и в случаи других высокоуглеродистых материалов, таких как антрацит, графит или технический углерод.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проекты №FSWW-2022-0018 и №FZES-2021-0008).

Список литературы

1. Han L., Zhang P., Li L., Lu S., Su B., An X., Lei Z. Nitrogen-containing carbon nano-onions-like and graphene-like materials derived from biomass and the adsorption and visible photocatalytic performance // Applied Surface Science. Elsevier, 2021. Vol. 543. P. 148752.
2. Renda C.G., Goulart L.A., Fernandes C.H.M., Mascaro L.H., De Aquino J.M., Bertholdo R. Novel onion-like carbon structures modified with iron oxide as photocatalysts for the degradation of persistent pollutants // Journal of Environmental Chemical Engineering. Elsevier, 2021. Vol. 9, № 1. P. 104934.
3. Zhang L., Zhou Q., Zhao H., Ruan C., Wang Y., Li Z., Lian Y. The arc-discharged Ni-cored carbon onions with enhanced microwave absorption performances // Materials Letters. Elsevier, 2020. Vol. 265. P. 127408.
4. Dhand V., Yadav M., Kim S.H., Rhee K.Y. A comprehensive review on the prospects of multi-functional carbon nano onions as an effective, high- performance energy storage material // Carbon. Elsevier, 2021. Vol. 175. P. 534–575.
5. Arora N., Sharma N.N. Arc discharge synthesis of carbon nanotubes: Comprehensive review // Diamond and Related Materials. Elsevier, 2014. Vol. 50. P. 135–150.
6. Joseph Berkmans A., Jagannatham M., Rohit Reddy D., Haridoss P. Synthesis of thin bundled single walled carbon nanotubes and nanohorn hybrids by arc discharge technique in open air atmosphere // Diamond and Related Materials. Elsevier, 2015. Vol. 55. P. 12–15.
7. Su Y., Wei H., Li T., Geng H., Zhang Y. Low-cost synthesis of single-walled carbon nanotubes by low-pressure air arc discharge // Materials Research Bulletin. Elsevier, 2014. Vol. 50. P. 23–25.
8. Heidari A., Younesi H. Synthesis, characterization and life cycle assessment of carbon nanospheres from waste tires pyrolysis over ferrocene catalyst // Journal of Environmental Chemical Engineering. Elsevier, 2020. Vol. 8, № 2. P. 103669.
9. Pak A.Y., Shanenkov I.I., Mamontov G.Y., Kokorina A.I. Vacuumless synthesis of tungsten carbide in a self-shielding atmospheric plasma of DC arc discharge // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. Elsevier, 2020. Vol. 93. P. 105343.
10. Song W., Zhou J., Li Y., Li S., Yang J. Utilization of waste tire powder for gaseous fuel generation via CO2 gasification using waste heat in converter vaporization cooling flue // Renewable Energy. Elsevier, 2021. Vol. 173. P. 283–296.
11. He C.N., Zhao N.Q., Shi C.S., Du X.W., Li J.J. Effect of annealing on the structure of carbon onions and the annealed carbon coated Ni nanoparticles fabricated by chemical vapor deposition // Journal of Alloys and Compounds. Elsevier, 2009. Vol. 472, № 1–2. P. 230–233.
12. Gan Y., Banhart F. The mobility of carbon atoms in graphitic nanoparticles studied by the relaxation of strain in carbon onions // Advanced Materials. Wiley Online Library, 2008. Vol. 20, № 24. P. 4751–4754.
13. Gong X., Guo Z., Wang Z. Reactivity of pulverized coals during combustion catalyzed by CeO2 and Fe2O3 // Combustion and Flame. Elsevier, 2010. Vol. 157, № 2. P. 351–356.
14. Larionov K.B., Slyusarskiy K. V., Ivanov A.A., Mishakov I. V., Pak A.Y., Jankovsky S.A., Stoyanovskii V.O., Vedyagin A.A., Gubin V.E. Comparative analysis of the characteristics of carbonaceous material obtained via single-staged steam pyrolysis of waste tires // Journal of the Air and Waste Management Association. Taylor & Francis, 2022. Vol. 72, № 2. P. 161–175.

References

1. Han L., Zhang P., Li L., Lu S., Su B., An X., Lei Z. Nitrogen-containing carbon nano-onions-like and graphene-like materials derived from biomass and the adsorption and visible photocatalytic performance // Applied Surface Science. Elsevier, 2021. Vol. 543. P. 148752.
2. Renda C.G., Goulart L.A., Fernandes C.H.M., Mascaro L.H., De Aquino J.M., Bertholdo R. Novel onion-like carbon structures modified with iron oxide as photocatalysts for the degradation of persistent

pollutants // Journal of Environmental Chemical Engineering. Elsevier, 2021. Vol. 9, № 1. P. 104934.
3. Zhang L., Zhou Q., Zhao H., Ruan C., Wang Y., Li Z., Lian Y. The arc-discharged Ni-cored carbon onions with enhanced microwave absorption performances // Materials Letters. Elsevier, 2020. Vol. 265. P. 127408.
4. Dhand V., Yadav M., Kim S.H., Rhee K.Y. A comprehensive review on the prospects of multi-functional carbon nano onions as an effective, high- performance energy storage material // Carbon. Elsevier, 2021. Vol. 175. P. 534–575.
5. Arora N., Sharma N.N. Arc discharge synthesis of carbon nanotubes: Comprehensive review // Diamond and Related Materials. Elsevier, 2014. Vol. 50. P. 135–150.
6. Joseph Berkmans A., Jagannatham M., Rohit Reddy D., Haridoss P. Synthesis of thin bundled single walled carbon nanotubes and nanohorn hybrids by arc discharge technique in open air atmosphere // Diamond and Related Materials. Elsevier, 2015. Vol. 55. P. 12–15.
7. Su Y., Wei H., Li T., Geng H., Zhang Y. Low-cost synthesis of single-walled carbon nanotubes by low-pressure air arc discharge // Materials Research Bulletin. Elsevier, 2014. Vol. 50. P. 23–25.
8. Heidari A., Younesi H. Synthesis, characterization and life cycle assessment of carbon nanospheres from waste tires pyrolysis over ferrocene catalyst // Journal of Environmental Chemical Engineering. Elsevier, 2020. Vol. 8, № 2. P. 103669.
9. Pak A.Y., Shanenkov I.I., Mamontov G.Y., Kokorina A.I. Vacuumless synthesis of tungsten carbide in a self-shielding atmospheric plasma of DC arc discharge // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. Elsevier, 2020. Vol. 93. P. 105343.
10. Song W., Zhou J., Li Y., Li S., Yang J. Utilization of waste tire powder for gaseous fuel generation via CO2 gasification using waste heat in converter vaporization cooling flue // Renewable Energy. Elsevier, 2021. Vol. 173. P. 283–296.
11. He C.N., Zhao N.Q., Shi C.S., Du X.W., Li J.J. Effect of annealing on the structure of carbon onions and the annealed carbon coated Ni nanoparticles fabricated by chemical vapor deposition // Journal of Alloys and Compounds. Elsevier, 2009. Vol. 472, № 1–2. P. 230–233.
12. Gan Y., Banhart F. The mobility of carbon atoms in graphitic nanoparticles studied by the relaxation of strain in carbon onions // Advanced Materials. Wiley Online Library, 2008. Vol. 20, № 24. P. 4751–4754.
13. Gong X., Guo Z., Wang Z. Reactivity of pulverized coals during combustion catalyzed by CeO2 and Fe2O3 // Combustion and Flame. Elsevier, 2010. Vol. 157, № 2. P. 351–356.
14. Larionov K.B., Slyusarskiy K. V., Ivanov A.A., Mishakov I. V., Pak A.Y., Jankovsky S.A., Stoyanovskii V.O., Vedyagin A.A., Gubin V.E. Comparative analysis of the characteristics of carbonaceous material obtained via single-staged steam pyrolysis of waste tires // Journal of the Air and Waste Management Association. Taylor & Francis, 2022. Vol. 72, № 2. P. 161–175.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 504.062.2

Внедрение системы раздельного сбора твёрдых коммунальных отходов в Ленинградской области

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

Статья поступила 21.02.2023 г.; после доработки 22.02.2023 г.

Аннотация

В статье представлены результаты анализа сферы раздельного сбора твёрдых коммунальных отходов в Ленинградской области. Проанализирована эффективность принятых мер по внедрению раздельного сбора твёрдых коммунальных отходов в Ленинградской области. Рассмотрены возможные пути решения проблемы осуществления раздельного сбора твёрдых коммунальных отходов в области.

Ключевые слова: твёрдые коммунальные отходы, раздельный сбор твёрдых коммунальных отходов, утилизация отходов, обезвреживание отходов, размещение отходов.

Introduction of a system of separate collection of solid municipal waste in the Leningrad region

E.V. Zablotskaya
Sevastopol state university, 33 Universitetskayast., Sevastopol, 299053, Russia, evere82@mail.ru

Received 21.02.2023 y.; received in final form 22.02.2023 y.

Abstract

The article presents the results of the analysis of the sphere of separate collection of municipal solid waste in the Leningrad region. The effectiveness of the measures taken to introduce separate collection of municipal solid waste in the Leningrad region is analyzed. Possible ways of solving the problem of separate collection of municipal solid waste in the region are considered.

Keywords: solid municipal waste, separate collection of solid municipal waste, waste disposal, waste disposal, waste disposal.

Введение

В Ленинградской области ситуация в сфере обращения с твердыми коммунальными отходами, их транспортировкой, размещением и утилизацией, а также ликвидацией объектов накопленного вреда окружающей среде остается напряженной. Правительством Ленинградской области в целях реализации государственной политики в сфере обращения с отходами разработана программа «Охрана окружающей среды Ленинградской области», утвержденная постановлением Правительства Ленинградской области от 31.10.2013 No 368. Срок реализации программы – 2022-2024 гг. Целью данной государственной программы является обеспечение экологической безопасности и охраны окружающей среды Ленинградской области, в том числе за счет предотвращения вредного воздействия отходов производства и потребления на здоровье

человека и окружающую среду. В состав государственной программы входят следующие проекты, реализуемые в рамках программы:

- федеральный (региональный) проект «Комплексная система обращения с твердыми коммунальными отходами»;
- приоритетный проект «Развитие системы обращения с отходами на территории Ленинградской области».

Основной проблемой в сфере обращения с твердыми коммунальными отходами на территории Ленинградской области является сравнительно малая доля отходов производства и потребления, направляемая на обработку (сортировку) и утилизацию, что ведет к быстрому исчерпанию лимитов наполнения действующих полигонов отходов и к неэффективному использованию вторичных материальных ресурсов. Также имеется наличие сравнительно значимого количества несанкционированных свалок отходов на территории муниципальных образований региона, что приводит к ухудшению качества жизни и экологической безопасности населения [1].

Постановка задачи

Целью работы являлся анализ сферы раздельного сбора твёрдых коммунальных отходов в Ленинградской области.

Для реализации данной цели были поставлены следующие задачи:

- проанализировать эффективность принятых мер по внедрению раздельного сбора твёрдых коммунальных отходов в Ленинградской области;
- рассмотреть возможные пути решения проблемы осуществления раздельного сбора твёрдых коммунальных отходов в области.

Описание исследования

Федеральный проект «Комплексная система обращения с твердыми коммунальными отходами» реализуется в рамках Государственной программы Российской Федерации «Охрана окружающей среды» (утвержден постановлением Правительства Российской Федерации от 15.04.2014 № 326) и национального проекта «Экология» (утвержден протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 24.12.2018 № 16). Он направлен на формирование комплексной системы обращения с твёрдыми коммунальными отходами, предотвращение вредного воздействия таких отходов на здоровье человека и окружающую среду, вовлечение их в хозяйственный оборот в качестве сырья, материалов, изделий и превращение во вторичные ресурсы для изготовления новой продукции и получения энергии.

Цель реализации проекта направлена на «Создание устойчивой системы обращения с твёрдыми коммунальными отходами, обеспечивающей сортировку отходов в объеме 100% и снижение объемов отходов, направляемых на полигоны в 2 раза» (определена Указом Президента Российской Федерации от 21.07.2020 № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года»).

В рамках федерального проекта решается задача «Формирование комплексной системы обращения с твёрдыми коммунальными отходами, включая создание условий для утилизации запрещенных к захоронению отходов», а также определен общественно значимый результат – «Обеспечено снижение экологической нагрузки на население за счет сокращения захоронения твёрдых коммунальных отходов, в том числе прошедших обработку (сортировку)» [2].

Основная задача внедрения раздельного сбора твёрдых коммунальных отходов – снижение объема захоронения отходов, максимальное извлечение полезных компонентов и их возврат в производственный цикл. Необходимость внедрения раздельного сбора предусмотрена Федеральным Законом № 89, Указом Президента № 474, региональной программой Ленобласти «Охрана окружающей среды».

В ноябре 2020 года на совместном совещании Регионального оператора по обращению с ТКО Ленинградской области и Губернатором Ленинградской области было принято решение о внедрении раздельного сбора отходов. В рамках пилотного проекта на контейнерных площадках четырёх поселений (Кингисепп, Луги, Ивангород и Сланцы) региональный оператор установил 239 баков для сбора стекла и пластика (рис. 1): зеленые для бутылок, банок и стеклобоя, а жёлтые для бутылок от воды, напитков, растительного масла, непрозрачный ПЭТ, бутылки от шампуней. Каждый бак содержит инструкцию с простыми и подробными правилами сортировки отходов.

По итогам четырёх месяцев, с этих контейнеров было собрано 17,2 тонны пластика и 48 тонн стекла [3]. В апреле 2021 года к этому проекту подключили ещё 8 населенных пунктов Ленинградской области: деревня Колтуши, город

Сосновый Бор, посёлок Сосново, городское поселение Аннинское, село Ропшинское, город Кириши, город Тихвин, и микрорайон «Южный» Всеволожского района [34].



Рис. 1. Баки для раздельного сбора мусора в Кингисеппе

Пилотный проект показал, что затраты на закупку и установку баков для раздельного сбора мусора не окупают себя за счёт продажи вторсырья. Это связано, в первую очередь, с тем, что сортировка только на 2 фракции: пластик и стекло – малоэффективна, а также с тем, что у населения нет знаний о том, как правильно сортировать отходы [4]. В баки для макулатуры часто попадают тетрапаки, бумажные стаканчики для кофе, фотографии, переработка которых невозможна вместе с макулатурой. Из-за многослойности такой упаковки, она требует иного процесса переработки. Также и в бак для пластика выбрасывают все пластиковые изделия, не смотря на инструкцию на самом баке, к примеру, если в бак можно выбросить детские игрушки из пластика или пульверизаторы, то нужно отделить от них металлические элементы. Из-за высокого процента засора во вторичных фракциях, дорожает процесс его дальнейшей сортировки.

Помимо раздельного сбора мусора в баки на мусорных площадках, в Ленобласти и Санкт-Петербурге существует ряд организаций, занимающихся вывозом вторсырья от граждан за установленную плату. В отличие от баков для раздельного сбора мусора на мусорных площадках, где невозможно проконтролировать добросовестное соблюдение правил сортировки отходов, экологические организации проверяют вторсырье на месте у заказчика вывоза и в случае несоблюдения условий, вывоз вторсырья не будет осуществлен. Отходы, перед сдачей в экологические организации проходят более «жёсткую» сортировку (таблица 1).

Вторсырье должно быть чистым, вымытым, рассортированным на:

- стекло;
- металл;
- макулатура;
- тетрапак;
- мягкий пластик;
- твёрдый пластик.

Каждая фракция должна быть сложена в отдельный пакет либо картонную коробку [5].

Примером такой организации является экологическая автономная некоммерческая организация «Зелёнка». Они осуществляют вывоз вторсырья за определенную плату, зависящую от удалённости района, а также осуществляют приём вторсырья в своих пунктах сбора. Собранное вторсырье проходит досортировку, мини-

мальные объемы накапливаются для дальнейшей продажи организациям, занимающимся переработкой, часть вторсырья продают более крупным организациям-посредникам, которые могут накапливать на своих площадях большие объемы вторсырья.

Таблица 1. *Принцип сортировки вторичных ресурсов*

Вторсырье	Сортировка по фракциям
Стекло	– тарный стеклобой; – листовой стеклобой.
Металл	– кастрюли, сковородки и пр. металлическая посуда; – жесть (жестяные, консервные банки, крышки и пр.); – алюминиевые банки; – пустые аэрозольные баллончики (необходимо отделять от них пластиковые крышки); – фольга, алюминиевые крышки, металлическая проволока и пр.
Макулатура	– гофрокартон (коробки из-под бытовой техники, коробки для пиццы и пр.); – картон (открытки, упаковки от чая, конфет, круп и т.п.); – белая офисная бумага; – книги/ журналы/ тетради/ цветная бумага/ листовки/ буклеты; – газеты; – втулки; – пульперкартон (яичные лотки и пр.).
Тетрапак	– все виды тетрапака; – стаканчики из-под кофе, чая без пластиковых крышек. Упаковку обязательно перед сдачей нужно разрезать, вымыть и высушить. Пластиковые крышки нужно снять и сдавать отдельно с другими крышками.
Мягкий пластик	– фольгированные плёнки; – микс (пленки/пакеты с маркировкой 2/пнд/hdpe, 4/пвд/ldpe, 5/пп/pp, смеси c/ldpe, c/pp и др., но без фольгированного покрытия, стретч-плёнка, пакеты пвд с застежкой zip-lock, плетеные полипропиленовые мешки и сетки из-под овощей и пр.).
Твердый пластик	– бутылочный (бутылки от воды, кваса, масла, молочных продуктов, некоторых шампуней и пр.); – коррекс/блистерный (одноразовые контейнеры для еды, подложка от конфет и пр.); – пивные пэт-кеги; – 2/пнд/hdpe крышки; – 2/пнд/ndpe флаконы, канистры; – 4/пнд/ndpe (крышки от больших бутылей для кулеров и пр.); – первичные 5/пп/pp (одноразовые стаканы, ведерки от молочной продукции, солений, крышки); – вторичный 5/пп/pp (ящики, мусорные ведра, контейнеры и пр.); – твердый 6/пс/ps (стаканы от йогуртов, одноразовые вилки, ложки, некоторые упаковки от тортов, вешалки и пр.); – вспененный 6/пс/ps (ланч-боксы, лотки от мяса/яиц).

Стеклобой «Зелёнка» продает ООО «Стеклорезерв» и ООО «Гласс Ресайклинг Раша»[6]. На предприятиях осуществляется очистка стеклобоя от следующих включений: камень, щебень, песок, глина, металл, пластик, полиэтилен, уголь, а также органических примесей, а также удаляются крышки, железные ободки и пластиковые дозаторы. Стеклобой сортируется по цветности и хранится на открытом бетонном покрытии. Предприятия продают стеклобой на стекольные заводы по всей России, а также на производство строительных материалов [7, 8]. Металл продают ООО «ПромИнфест Экспорт», организация покупает металл, бытовую технику, электронный лом у юридических лиц и предприятий Спб и Ленобласти. После сортировки, разборки, очистки от изоляционных материалов электронного лома, металл продают на различные предприятия по всей России.

Макулатура продается ООО «РРК СПБ», ООО «МПК» и ООО «Корона», на предприятиях макулатуру очищают от посторонних элементов, загрязнений, просушивают, сортируют по техническим характеристикам, упаковывают в кипы для продажи на различные производства [9].

Для того, чтобы продать тетрапак на Целлюлозно-бумажные комбинаты без потери рентабельности, «Зеленка», как и другие организации

с маленькими площадями для размещения вторсырья, продают тетрапак крупным заготовителям: ООО «РРК СПБ» и ООО «МПК» [6]. Крупные заготовители могут размещать на своих площадях такое количество вторсырья одной фракции, которое необходимо для рентабельной транспортировки на целлюлозно-бумажные комбинаты. ООО «РРК СПБ» и ООО «МПК» продают тетрапак и макулатуру ЦБК «Л-ПАК» в г. Липецк, где производят трехслойный и пятислойный гофрокартон и весь спектр изделий из него [10].

Полимеры принимают на переработку ООО «РРК СПБ», ООО «МПК», Завод по переработке пластиковых бутылок «АРТЭКО», ООО «ТАРА.РУ», ООО «Листок» и «Хабико Рециклинг».

ООО «Листок» закупает пластиковые отходы у производственных предприятий для производства полимер-песчаной тротуарной плитки [11].

Полимер-песчаный композит состоит из:

- наполнителя – чистый просеянный песок размером фракции до 3 мм – 60-75% смеси;
- пигмента (возможно использование любых минеральных и органических красителей);
- связующего (чаще всего – полиэтилен высокого и низкого давления, полипропилен, ПЭТ, АБС – пластик) – 23-38% смеси;
- пластификаторов (для увеличения подвижности смеси и облегчения процесса формования);
- армирования. Синтетические, органические и минеральные волокнистые материалы могут быть добавлены для увеличения прочности на растяжение и изгиб. Для армирования чаще всего используют асбест, хлопковые очесы, стеклянное и ацетатное волокно [12].

«Хабико Рециклинг» производит упаковку для пищевой продукции из вторсырья, «ТАРА.РУ» помимо пищевой упаковки производит также пластиковые ящики, крупногабаритные контейнеры, мусорные контейнеры. «АРТЭКО» продают флотацию – дробленую крышку ПНД и ПЭТ-флекс для дальнейшего производства. 80% ПЭТ-флекса идёт на производство синтетического волокна, которое используется как наполнители для бытовых товаров (подушек, мягких игрушек), также из волокна делается геотекстиль, который используется в дорожном строительстве, а также нить для пошива одежды, 20% – на упаковочную стреп ленту, кровельные материалы [13].

Ряд магазинов СПб и Ленобласти организовали в своих филиалах сбор одежды и обуви от населения. Они дарят скидочные сертификаты на покупки в сети их магазинов за сданную старую одежду и обувь. Собранную одежду и обувь отправляют на предприятия, где после сортировки часть направляется в магазины секонд-хэнд, часть продается, как ветошь, всё, что не вошло в первые две категории – перерабатывается в волокно, а затем в пряжу, большая часть которой идёт на производство половых тряпок и перчаток. Старую обувь превращают в мелкую крошку, из которой потом делают резиновые покрытия для стадионов, детских площадок и т.д.

Прежде чем попасть на предприятие по сортировке, все вещи герметично упаковываются в магазинах в специальные мешки и снабжаются защитной пломбой. Упакованные текстильные изделия транспортируются на предприятие Laut Recycling в Ивановской области.

На этапе сортировки все текстильные изделия сортируют на несколько категорий, в зависимости от состояния на:

- Одежда секонд-хенд – одежа пригодная для дальнейшей носки;
- Ветошь. Непригодную для дальнейшей носки одежду нарезают на специальных станках и прессуют в брикеты для транспортировки. Ветошь составляет 60-70% объема общего текстиля;
- Разволокнение. Одежда, не подходящая под первые 2 категории, идёт на переработку для производства новых товаров.

Из переработанного текстиля на предприятии «Красная ветка» в городе Иваново производят ватные волокна и уже из этого волокна создают нетканое полотно, смешивая его с остатками тканого производства. Из данного полотна впоследствии производят технические салфетки для уборки, либо отдают его на производство пряжи. В свою очередь из пряжи получают нити, из которых вьют новые товары, такие как перчатки и носки.

Старую обувь, собранную в магазинах, отправляют на переработку на ООО «Дмитровский завод РТИ» в Московской области.

После сортировки обуви по материалам, от обуви отделяются металлические элементы и текстильная часть. После этого от обуви остается только резиновая часть, которую измельчают и используют для производства резиновых покрытий для детских площадок, кортов и т.д.

Заключение

1. Одной из нерешенных задач на федеральном и региональном уровнях является создание

инновационной, технико-экономической системы, позволяющей минимизировать количество захораниваемых отходов, максимально обеспечив при этом ресурсосбережение, повторное вовлечение в хозяйственный оборот утилизируемых компонентов отходов в качестве сырья, материалов, изделий, превращение отходов во вторичное сырье для изготовления новой продукции и получения энергии.

2. В целях снижения негативного воздействия отходов производства и потребления на окружающую среду в 2021 г. в рамках национального проекта «Экология» муниципальными образованиями с применением предоставленных субсидий были закуплены и установлены 915 контейнеров для раздельного накопления твердых коммунальных отходов.

3. В рамках национального проекта «Экология» в Ленинградской области планируется построить комплекс по обращению с отходами «Кингисепп». Ввод в эксплуатацию ожидается во втором квартале 2023 года. Комплекс мощностью 300 тыс. тонн в год будет построен на нарушенных землях промзоны «Фосфорит» в Кингисеппском районе. Согласно проекту современные линии сортировки позволят отбирать не менее 20 % вторсырья требуемого качества, порядка 35 % составят биоразлагаемые органические отходы, которые будут направлены на компостирование, а также фракции для производства SRF-топлива.

4. Существующая система раздельного сбора отходов показала себя малоэффективной, так как на большинстве мусорных площадок раздельный сбор отходов ограничивается разделением только на две фракции: стекло и пластик. Для минимизации нагрузки на полигоны требуется более «жесткая» система разделения на фракции, которая будет способствовать наиболее эффективному использованию ценных вторичных ресурсов.

Список литературы

1. Об экологической ситуации в Ленинградской области в 2021 году: ежегодный доклад Комитета по природным ресурсам Ленинградской области. 2022.
2. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году. Государственный доклад. – М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2022. – 685 с.
3. Управляющая компания по обращению с отходами в Ленинградской области [электронный ресурс] // Информационный портал «Управляющая компания по обращению с отходами в Ленинградской области». 2019 г. – Электрон. данные URL: https://uko-lenobl.ru/ (дата обращения: 07.06.2021 г.). – Заглавие с экрана.
4. Раздельный сбор привел к убыткам [электронный ресурс] // Информационный портал «Коммерсантъ Санкт-Петербург». 2021 г. – Электрон. данные URL: https://www.kommersant.ru/doc/4732290 (дата обращения: 08.06.2021 г.). – Заглавие с экрана.
5. Правила сортировки вторсырья [электронный ресурс] // Информационный портал «ЭкоПроект «Зеленка». 2020 г. – Электрон. данные URL: https://zelenka-sbor.ru/sorting/ (дата обращения: 08.06.2021 г.). – Заглавие с экрана.
6. Вывоз вторсырья в СПб и ЛО [электронный ресурс] // Информационный портал «ЭкоПроект «Зеленка». 2020 г. – Электрон. данные URL: https://zelenka-sbor.ru/#about (дата обращения: 08.06.2021 г.). – Заглавие с экрана.
7. ООО «СтеклоРезерв» Партнеры [электронный ресурс] // Информационный портал «СтеклоРезерв». 2020 г. – Электрон. данные URL: http://steklorezerv.ru/dop_menyu/partnery/ (дата обращения: 08.06.2021 г.). – Заглавие с экрана.
8. Статьи о стеклобое и бое стекла. Переработка, особенности, история [электронный ресурс] // Информационный портал «Глас Ресайклинг Раша». 2020 г. – Электрон. данные URL: http://glassrecycling.ru/kontakty.html (дата обращения: 08.06.2021 г.). – Заглавие с экрана.
9. Продажа вторсырья в Санкт-Петербурге (СПб) оптом-цены [электронный ресурс] // Информационный портал «Корона». 2020 г. – Электрон. данные URL: https://koronaspb.ru/service/prodazha-vtorsyrya/ (дата обращения: 08.06.2021 г.). – Заглавие с экрана.
10. Л – Пак – производитель бумаги из вторсырья, гофрокартона и упаковки [электронный ресурс] // Информационный портал «Л – Пак». 2021 г. – Электрон. данные URL: https://l-pak.ru/company/about/ (дата обращения: 09.06.2021 г.). – Заглавие с экрана.
11. Полимер-песчаная плитка (тротуарная) [электронный ресурс] // Информационный портал «ООО «Листок». 2021 г. – Электрон. данные URL: https://ecobaza.spb.ru/polimer-peschanaya-plitka-trotuarnaya (дата обращения: 09.06.2021 г.). – Заглавие с экрана.
12. Производство полимерпесчаных изделий: оборудование, технологии и перспективы [электронный ресурс] // Информационный портал «Rcycle.net». 2020 г. – Электрон. данные URL: https://rcycle.net/plastmassy/izdeliya-iz-vtorichnogo-plastika/polimerpeschanye-izdeliya/proizvodstvo-tehnologii-oborudovanie (дата обращения: 09.06.2021 г.). – Заглавие с

экрана.
13. Завод по переработке пластика в Санкт-Петербурге «АРТЭКО» [электронный ресурс] // Информационный портал «АРТЭКО». 2021 г. – Электрон. данные URL: http://artecospb.ru/ (дата обращения: 09.06.2021 г.). – Заглавие с экрана.

References

1. On the environmental situation in the Leningrad Region in 2021: annual report of the Committee on Natural Resources of the Leningrad Region. 2022.
2. On the state and environmental protection of the Russian Federation in 2021. State report. - Moscow: Ministry of Natural Resources of Russia; Lomonosov Moscow State University, 2022. – 685 p.
3. Waste management company in the Leningrad region [electronic resource] // Information portal "Waste management Company in the Leningrad region". 2019 – Electron. URL data: https://uko-lenobl.ru / (accessed: 06/07/2021). – Title from the screen.
4. Separate collection led to losses [electronic resource] // Information portal "Kommersant St. Petersburg". 2021 – Electron. URL data: https://www.kommersant.ru/doc/4732290 (accessed: 08.06.2021). – Title from the screen.
5. Rules for sorting recyclables [electronic resource] // Information portal "Ecoproject "Zelenka". 2020 – Electron. URL data: https://zelenka-sbor.ru/sorting / (accessed: 08.06.2021). – Title from the screen.
6. Export of recyclables to St. Petersburg and LO [electronic resource] // Information portal "Ecoproject "Zelenka". 2020 – Electron. URL data: https://zelenka-sbor.ru/#about (date of reference: 08.06.2021). – Title from the screen.
7. LLC "StekloRezerv" Partners [electronic resource] // Information portal "StekloRe-zerv". 2020 – Electron. URL data: http://steklorezerv.ru/dop_menyu/partnery / (accessed: 08.06.2021). – Title from the screen.
8. Articles about glass-breaking and glass-fighting. Processing, features, history [electronic resource] // Information portal "Glas Recycling Ra-sha". 2020 – Electron. URL data: http://glassrecycling.ru/kontakty.html (date of publication: 08.06.2021). – Title from the screen.
9. Sale of recyclables in St. Petersburg (St. Petersburg) wholesale-prices [electronic resource] // Information portal "Crown". 2020 – Electron. URL data: https://koronaspb.ru/service/prodazha-vtorsyrya / (accessed: 08.06.2021). – Title from the screen.
10. L – Pak – producer of recycled paper, corrugated cardboard and packaging [electronic resource] // Information portal "L – Pak". 2021 – Electron. URL data: https://l-pak.ru/company/about / (accessed: 06/09/2021). – Title from the screen.
11. Polymer-sand tile (paving) [electronic resource] // Information portal "Leaf" LLC. 2021 – Electron. URL data: https://ecobaza.spb.ru/polimer-peschanaya-plitka-trotuarnaya (accessed: 06/09/2021). – Title from the screen.
12. Production of polymer-sanded products: equipment, technologies and prospects [electronic resource] // Information portal "Rcycle.net ". 2020 – Electron. URL data: https://rcycle.net/plastmassy/izdeliya-iz-vtorichnogo-plastika/polimerpeschanye-izdeliya/proizvodstvo-tehnologii-oborudovanie (date of address: 06/09/2021). – Title from the screen.
13. Plastic processing plant in St. Petersburg "ARTECO" [electronic resource] // Information portal "ARTECO". 2021 – Electron. URL data: http://artecospb.ru / (accessed: 06/09/2021). – Title from the screen.

УДК 504.062

Обращение с твёрдыми коммунальными отходами в Ленинградской области

Е.В. Заблоцкая[1], О.П. Гавриш[2]
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, [1]evere82@mail.ru, [2]olga_gavrish_53@mail.ri

Статья поступила 21.02.2023 г.; после доработки 22.02.2023 г.

Аннотация

В статье представлены результаты анализа сферы обращения с твердыми коммунальными отходами в Ленинградской области.Выявлена сущность и видытвёрдых коммунальных отходов на территории области, рассмотрены существующие методы обезвреживания и утилизации твердых коммунальных отходов. Проведенный анализ позволил выявить пути реализации реформы обращения с твердыми коммунальными отходами в Ленинградской области.

Ключевые слова: твёрдые коммунальные отходы, утилизация отходов, обезвреживание отходов, размещение отходов, полигон.

Solid municipal waste management in the Leningrad Region

E.V. Zablotskaya[1], O.P. Gavrish[2]
Sevastopol state university, 33 Universitetskayast., Sevastopol, 299053, Russia, [1]evere82@mail.ru, [2]olga_gavrish_53@mail.ri

Received 21.02.2023 y.; received in final form 22.02.2023 y.

Abstract

The article presents the results of the analysis of the sphere of solid municipal waste management in the Leningrad region. The essence and types of solid municipal waste in the territory of the region are revealed, the existing methods of neutralization and disposal of solid municipal waste are examined. The analysis made it possible to identify ways to implement the reform of solid municipal waste management in the Leningrad region.

Keywords: solid municipal waste, waste disposal, waste disposal, waste disposal, landfill.

Введение

На сегодняшний день одной из наиболее актуальных является проблема рационального обращения с отходами. Бесконтрольное обращение с отходами приводит к серьезным экологическим последствиям, в связи с чем во всех развитых странах принимаются законодательные акты, регулирующие комплексное управление отходами (сбор, транспортирование, сортировка, обезвреживание, переработка, утилизация, ликвидация, захоронение, требования к местам складирования, правила маркировки и хранения и т.д.

Увеличение размеров промышленного производства, слабый контроль за осуществлением природоохранных мероприятий, устаревание инфраструктуры (в том числе очистных сооружений) спровоцировали увеличение проблем в сфере вывоза сбора и утилизации ТКО.

В России, на сегодняшний день, утилизация отходов также является одной из основных экологических проблем. По данным Минприроды, ежегодно в России образуется около 70 млн тонн отходов, каждый год эта цифра вырастает на 3 %. Перерабатывают всего 5 – 7 % мусора, остальное

отправляют на захоронение, практически исчерпаны мощности полигонов, нет инфраструктуры по переработке мусора.

Жизнедеятельность человека тесно связана с возникновением пищевых и производственных отходов. Среднестатистический россиянин производит до 500 кг мусора в год. Санкт-Петербург, будучи вторым городом по количеству населения после Москвы, образует 1,8 млн т/год ТКО, а Ленинградская область – 717 тыс. т /год [1].

На территории Ленинградской области около 2,3 тыс. точек мусорогенерации, в перечень входят все объекты, образующие ТКО, от продуктовых магазинов до банков и бюро судмедэкспертизы.

По информации на 2019 год на территории области принимают ТКО 14 полигонов, чьи возможности на 95% исчерпаны, это не считая, уже закрытые полигоны и несанкционированные свалки, куда до сих пор продолжают свозить отходы. Помимо отходов, образующихся на территории Ленобласти, так как размещать отходы на территории Санкт-Петербурга запрещено, в область также свозят отходы мегаполиса – 1,8 млн тонн в год [2].

Сейчас, по данным регионального оператора АО «Управляющая компания по обращению с отходами в Ленинградской области» (АО «УК ООЛО»), из 717 тыс. тонн ТКО, образовавшихся в Ленобласти, на сортировку было направлено 440,9 тыс. тонн, из них 148 тыс. тонн ушло в переработку, а остальной объем был направлен на полигоны. Низкая платежеспособность населения и, как следствие, высокая дебиторская задолженность по коммунальным платежам, отсутствие инфраструктуры по переработке отходов в местах их образования и накопления, большое расстояние транспортировки отходов от мест их образования до полигонов, оставляет проблему обращения с ТКО в Ленинградской области в числе главных.

Постановка задачи

Целью работы являлся анализ системы обращения с твёрдыми коммунальными отходами на территории Ленинградской области.

Для реализации данной цели были поставлены следующие задачи:

- выявить сущность и виды твёрдых коммунальных отходов на территории Ленинградской области;
- раскрыть методику анализа системы обращения с твёрдыми коммунальными отходами на территории Ленинградской области;
- провести анализ системы обращения с твёрдыми коммунальными отходами на территории Ленинградской области и найти оптимальный подход к решению данной проблемы.

Описание исследования

Переполненность существующих полигонов на территории Ленинградской области провоцирует рост и появление несанкционированных свалок, основной объем которых составляет строительный мусор[3].

Ранее строительные отходы использовались для отсыпки берегов и в качестве противопожарного слоя при захоронении твёрдых коммунальных отходов,однако, сейчас строительные отходы необходимо свозить на специализированные полигоны. В Ленобласти существует только один такой полигон, который уже переполнен. Перед попаданием на полигоны Ленобласти отходы Санкт-Петербурга проходили переработку на предприятии «МПБО-2», которое с 1 января 2021 года закрыто. На площадке Янино-1 в Ленобласти производилась переработка отходов IV-Vклассов опасности методом компостирования в биобарабанах с извлечением некомпостируемых фракций и выделением вторичного сырья.

Лабораторные исследования Росприроднадзора установили, что при прохождении отходов через биобарабаны класс опасности отходов повышается, что вызвано отсутствием в технологическом процессе предварительной сортировки отходов. Кроме этого, компост, который образуется после прохождения отходов через биобарабаны, размещался на почве[4].

В ноябре 2019 года вЛенобласти стартовала реформа отрасли обращения с твёрдыми коммунальными отходами.В соответствии с программой реформы была разработана Территориальная схема обращения с отходами [5].

По данным Территориальной схемы обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами Ленинградской области, на территории области функционирует 21 предприятие, занимающееся обработкой отходов, 31 – утилизацией, 16 – обезвреживанием и 26 – размещением[6].Объекты обращения с отходами относятся к объектам жизнеобеспечения городов и населенных пунктов и классифицируются как

сооружения особо высокого уровня ответственности.

Все районы Ленобласти распределены по семи технологическим зонам (рис. 1), в каждой из которых своя схема движения потоков ТКО. Технологические зоны образованы по принципу нахождения якорных полигонов, в одну технологическую зону входит район, на территории которого несколько полигонов и один или несколько соседних районов, которые размещают свои отходы на этих же полигонах из-за отсутствия полигонов на своей территории.

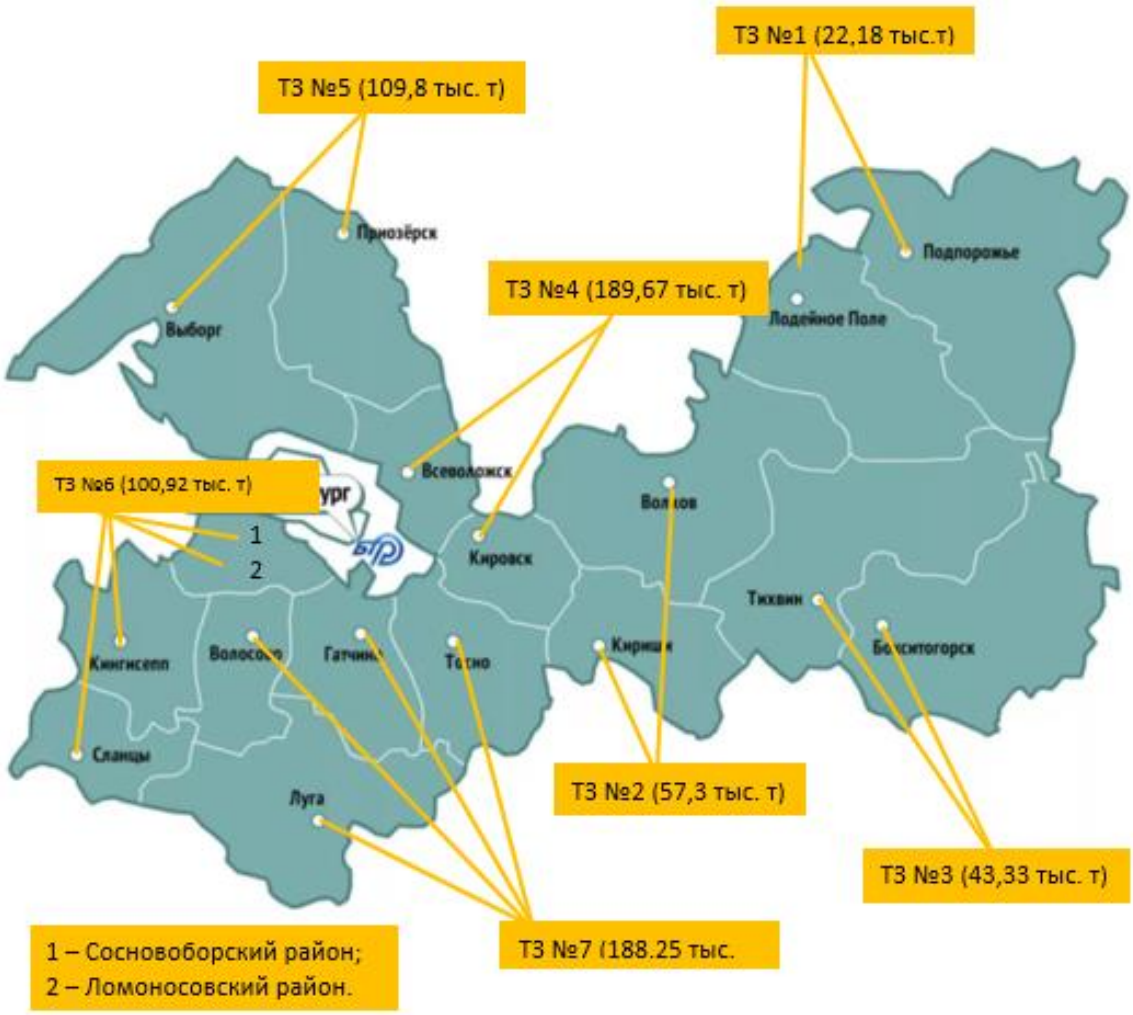


Рис. 1.Карта районирования Ленинградской области с технологическими зонами

Система обращения с твёрдыми коммунальными отходами предприятий, входящих в схему движения потоков ТКО Ленобласти состоит из:

- сбора отходов, их транспортирование на завод;
- обработки отходов;
- обезвреживания;
- утилизации;
- размещения отходов на полигонах.

Для решения проблемы стихийных свалок было решено внедрить систему отслеживания всех легальных перевозчиков отходов через систему ГЛОНАСС. Система позволяет фиксировать передвижения всего транспорта для перевозки отходов, оснащенного специальными устройствами.ГЛОНАСС может определить местонахождение объекта с точностью до 1,4 метра [7].

Согласно Территориальной схеме Ленинградской области, в период до 2025 года на территории области планируется реконструкция и строительство ряда объектов по обращению с твёрдыми коммунальными отходами. На территории Волховского, Всеволожского, Кингисеппского и Волосовского районов планируется реконструкция имеющихся полигонов. В Лужском

районе Ленинградской области планируется реконструкция и расширение площадей существующего полигона ТКО.Помимо реконструкции имеющихся полигонов ТКО, в ряде районов планируется строительство объектов по обработке, утилизации и размещению твёрдых коммунальных отходов, это – Всеволожский, Кингисеппский, Приозерский, Выборгский и Гатчинский районы Ленинградской области [6].

До 2024 года компания «Единый региональный оператор» планирует построить вблизи г. Гатчина предприятие по переработке отходов (Экотехнопарк «Селект Энерджи») мощностью 1,1 млн тонн в год, из них 1 млн тонн – твердые коммунальные отходы, 100 тыс. тонн – крупногабаритные и строительные [8].

На планируемом предприятии будут использоваться технологии, аналогичные тем, что использует «Спецтранс Инвест» на своем заводе «Автопарк №1 Спецтранс». На данный момент предприятие принимает 100 тыс. тонн отходов в год из районов Санкт-Петербурга. Процент утилизации составляет 75% [9]. Предприятие вошло в 15 самых эффективных проектов по обработке мусора в Росси по данным Российского экологического оператора. В «топе» оказались только те проекты, где выход полезного вторсырья при обработке отходов составил не менее 20% [10].

«Автопарк №1 Спецтранс» является одним из немногих предприятий, которое осуществляет переработку отходов в SRF–топливо (Solid recovered fuel) – твёрдое топливо, состоящее из высококалорийных фракций: бумага (40–45%), полимеры (35–40%), текстиль (10–12%) и дерево (5–8%). Теплотворная способность топлива SRF эквивалентна бурому углю и в зависимости от сорта составляет 4–6 тыс. ккал/кг. При этом стоимость его в несколько раз ниже – около 25 коп. за 1 ккал в сравнении с 64 коп. за уголь и 73 коп. за щепу или природный газ.На данный момент, предприятие поставляет альтернативное топливо на цементные заводы HeidelbergCement в Туле и Lafarge в Калуге [11].

«Селект Энерджи» планирует извлекать из ТКО около 15% вторичных ресурсов, около 30% техногрунта методом биологической сушки и компостирования, а из 20% делать альтернативное топливо SRF, которое планируется использовать как топливо в цементной или металлургической промышленности, либо продавать в скандинавские страны.Еще порядка 15% уйдет в атмосферу в виде осадков после сушки и останется лишь 20% остатков от сортировки, которые планируется захоранивать на полигоне в промзоне «Фосфорит» в Кингисеппе [12]. Технологическая схема производства SRF топлива представлена на рисунке 2.

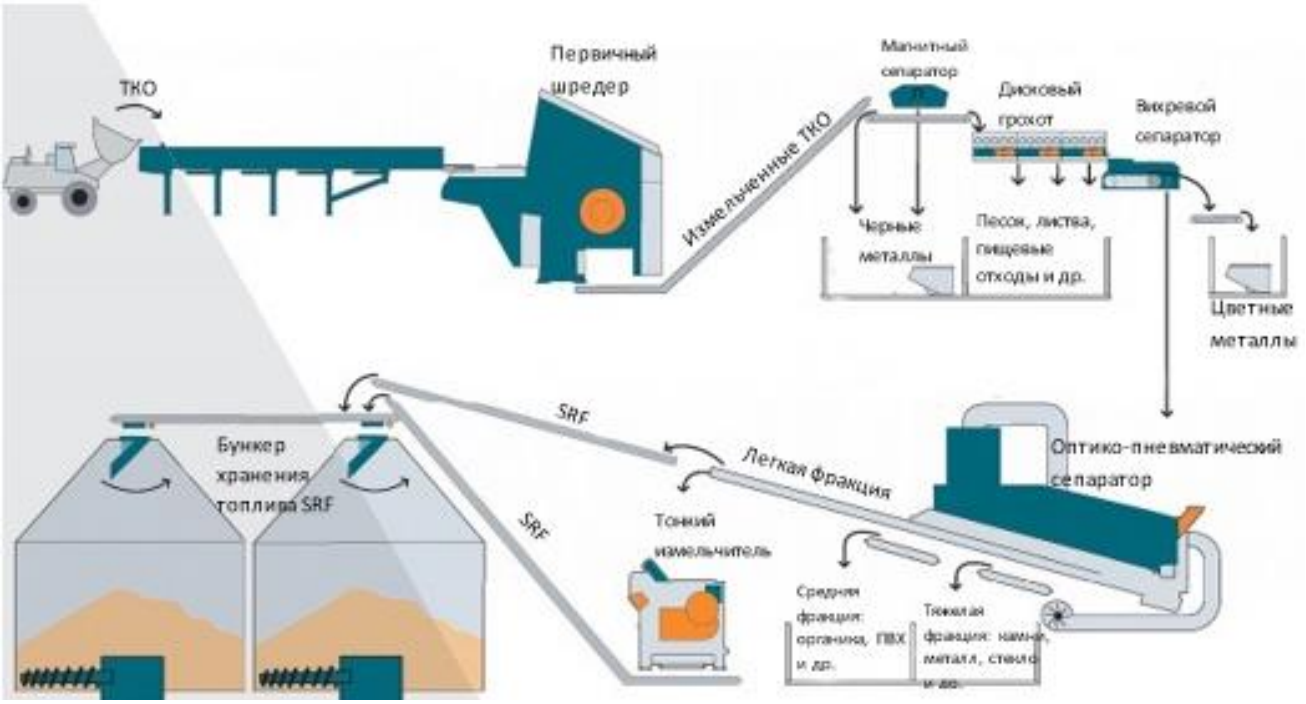


Рис. 2.Технологическая схема производства SRF топлива

После извлечения крупногабаритных отходов из общей массы, отходы попадают в первичный шредер, где происходит измельчение отходов и вскрытие мусорных пакетов. Затем,магнитный сепаратор отделяет чёрный металлолом, который вывозится на склад вторсырья.Надисковом грохоте происходит отделение фракции менее 80 мм, представляющей собой органические отходы, которые затем отправится на площадку для компостирования.Дальнейшая сортировка вторсырья происходит на оптико-пневматическом сепараторе. Схема работы сепаратора представлена на рисунке 3.

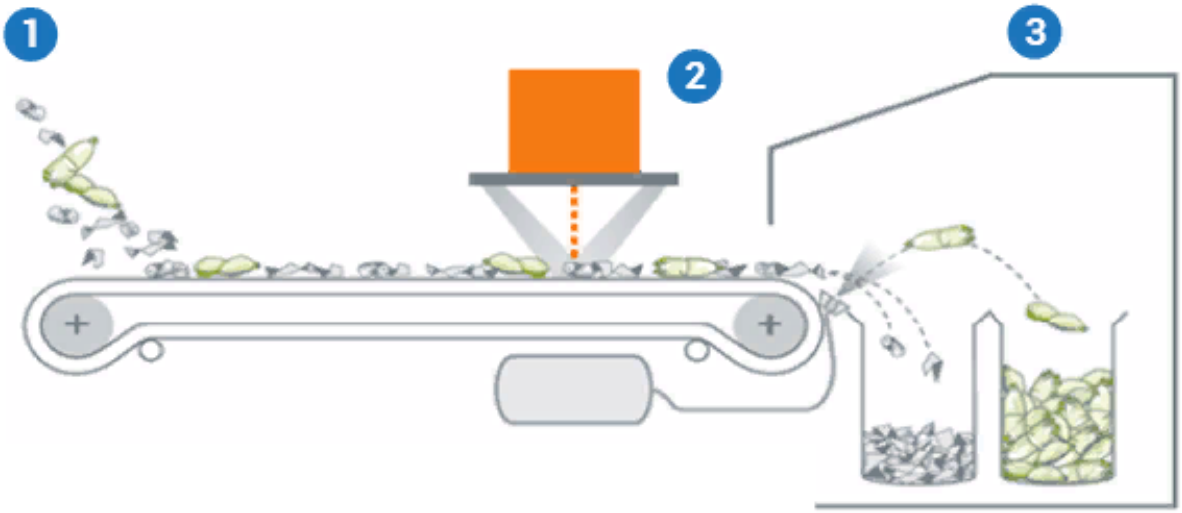


Рис. 3.Схема работы автоматизированного оптико-пневматического сепаратора: 1 – подача несортированного материала; 2 – спектрометрическое сканирование; 3 – разделительная камера

Оператор заранее выбирает: какой вид отходов нужно сортировать. Специальный блок ламп излучает на отходы свет видимого и инфракрасного спектра. Отраженный от отходов свет улавливается датчиками, и компьютер определяет спектр отраженного света, исходя из полученных данных, рассчитывается траектории движения отходов по конвейеру, которые отбираются струей сжатого воздуха.

На участке производства твёрдого топлива оптико-пневматический сепаратор автоматическим образом выбирает материалы, пригодные для производства топлива. Далее материалы поступают в дробилку, в которой измельчаются до размера 20-25 мм и перемешиваются для обеспечения гомогенности конечного продукта.Топливо представляет собой гомогенную измельченную массу из: полимеров, макулатуры, текстиля, резины, древесины и пр. Отобранное вторсырье кипуется и отправляются на склад.Инертная фракция состоит, в основном, из неорганических компонентов, прессуется для размещения на полигоне[9]. Преимуществами SRF является то, что оно является возобновляемым ресурсом и элементом циклической экономики, позволяет экономить природное топливо и снижать воздействие на окружающую среду (не нужно разрабатывать новые месторождения), а также снижает нагрузку на мусорные полигоны [11].

Также на территории Селект Энерджи планируют построить завод по переработке пластика. Из переработанных полимеров будут производить вторичный гранулят.Из вторичного гранулята производят пластмассовые тары, пластиковые трубы, линолеум, упаковочной ленты и т.д.

Компания «Спецтранс Инвест» на полигоне «Новый Свет-Эко» планирует увеличить мощности существующей станции активной дегазации полигона с электростанцией, работающей на свалочном газе с 2,4 МВт до 4,8МВт.Отходы на полигоне естественным образом разлагаются в ходе анаэробного процесса с выделением метана, образуется свалочный газ, содержащий, в среднем, 50% метана.Добыча свалочного газа производится с помощью вертикальной инсталляции в тело полигона перфорированных трубна глубину 15-25 метров, соединённых с системой трубопроводов, по которым выделяемый из тела полигона свалочный газ откачивается при помощи спутниковых газовых компрессорных

станций (СГКС).ССГКС свалочный газ подается по трубопроводу на главную газовую компрессорную станцию (ГГКС), откуда направляется на сжигание в газопоршневые двигатели ГПУ с целью выработки электроэнергии, которая используется для собственных нужд предприятия[13].

Заключение

1. Для решения проблемы размещения твердых коммунальных отходов необходимо постепенно перейти от захоронения отходов к их переработке, посредством внедрения более «жесткой» системы разделения ТКО на фракции, которая будет способствовать наиболее эффективному использованию ценных вторичных ресурсов.

2. Проблему несанкционированных свалок постепенно решит, уже введенная в эксплуатацию, спутниковая система контроля на всех этапах обращения с отходами ГЛОНАСС.

3. Важными шагами на пути ухода от захоронения станут планируемые предприятия: по производству SRF топлива из ТКО, переработке пластика и увеличение мощностей электрической станции, работающей на свалочном газе.

4. В связи с тем, что отходы Санкт-Петербурга размещаются на полигонах Ленобласти, проблемы системы обращения с ТКО требует объединения сил обоих регионов для комплексного решения ряда общих проблем.

Список литературы

1. Не мусором единым [электронный ресурс] // Информационный портал «Коммерсантъ Санкт-Петербург». 2021 г. – Электрон. данные. URL: https://www.kommersant.ru/doc/4770838 (дата обращения: 26.05.2021 г.). – Заглавие с экрана.
2. Тезисы доклада Главы Минприроды России Д.Н. Кобылкина на расширенном заседании Коллегии Министерства природных ресурсов и экологии РФ об итогах работы 2018 года и приоритетах деятельности 2019 года [электронный ресурс] // Информационный портал «Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации». 2019 г. – Электрон. данные. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/obshchie_materialy/tezisy_doklada_glavy_minprirody_rossii_d_n_kobylkina_na_rasshirennom_zasedanii_kollegii_ministerstva/ (дата обращения: 26.05.2021 г.). – Заглавие с экрана.
3. Экологи: Ленобласть на пороге мусорного коллапса [электронный ресурс] // Информационный портал «Вестник СЗФО». 2021 г. – Электрон. данные. URL: http://sz-fo.ru/lenoblast/1492856/ (дата обращения: 29.05.2021 г.). – Заглавие с экрана.
4. На площадках мусорного "МПБО-2" в Янино и на Волхонке прошли обыски [электронный ресурс] // Информационный портал «47 news». 2020 г. – Электрон. данные. URL: https://47news.ru/articles/176023/ (дата обращения 29.05.2021 г.). – Заглавие с экрана.
5. Реформа обращения с ТКО в Ленобласти: что седлано и что будет [электронный ресурс] // Информационный портал «online 47». 2020 г. – Электрон. данные URL: https://online47.ru/2020/01/09/reforma-obrashcheniya-s-tko-v-lenoblasti-chto-sdelano-i-chto-budet-84714 (дата обращения: 29.05.2021 г.). – Заглавие с экрана.
6. Территориальная схема обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами [электронный ресурс] // Информационный портал «Комитет Ленинградской области по обращению с отходами». 2019 г. – Электрон. данные. URL: https://waste.lenobl.ru/ru/deiatelnost/tershema/ (дата обращения: 26.05.2021 г.). – Заглавие с экрана.
7. Изменения в Постановление о Правилах оснащения транспортных средств категорий М2, М3 и транспортных средств категории N, используемых для перевозки опасных грузов, аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS реформе [электронный ресурс] // Информационный портал «СНТА». 2018 г. – Электрон. данные URL: https://www.snta.ru/press-center/pravila-osnashcheniya-transportnykh-sredstv-apparaturoy-sputnikovoy-navigatsiey/ (дата обращения: 29.05.2021 г.). – Заглавие с экрана.
8. Власти одобрили единого оператора мусора для Петербурга и области [электронный ресурс] // Информационный портал «РБК». 2020 г. – Электрон. данные URL: https://www.rbc.ru/business/30/09/2020/5f7214149a7947750d0a9db8 (дата обращения: 06.06.2021 г.). – Заглавие с экрана.
9. Переработка [электронный ресурс] // Информационный портал «АО Автопарк №1 Спецтранс». 2020 г. – Электрон. данные URL: http://spest1.ru/deyatelnost/pererabotka (дата обращения: 06.06.2021 г.). – Заглавие с экрана.
10. В России оказалось лишь 15 эффективных проектов обработки мусора [электронный ресурс] // Информационный портал «РБК». 2019 г. – Электрон. данные URL: https://www.rbc.ru/business/21/08/2019/5d5bf68d9a794736cdbe53ee (дата обращения: 06.06.2021 г.). – Заглавие с экрана.
11. Отходы как источник дохода: топливо из мусора нашло своего покупателя [электронный ресурс] // Информационный портал «Деловой Петербург». 2021 г. – Электрон. данные URL: https://www.dp.ru/a/2021/04/28/Nevelikoe_v_pole znoe (дата обращения: 07.06.2021 г.). – Заглавие

с экрана.
12. Мусорный компромисс города и области [электронный ресурс] // Информационный портал «Единый региональный оператор». 2021 г. – Электрон. данные URL: https://eroperator.ru/#news (дата обращения: 07.06.2021 г.). – Заглавие с экрана.
13. Полигон ТБО «Новый Свет – Эко» [электронный ресурс] // Информационный портал «Продэкс Энерджи». 2019 г. – Электрон. данные URL: https://prodex-energy.com/1348/ (дата обращения: 07.06.2021 г.). – Заглавие с экрана.ббб

References

1. Not a single garbage [electronic resource] // Information portal "Kommersant St. Petersburg". 2021 – Electron. data. URL: https://www.kommersant.ru/doc/4770838 (accessed: 05/26/2021). – Title from the screen.
2. Abstracts of the report of the Head of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation D.N. Kobylkin at an expanded meeting of the Board of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation on the results of 2018 and priorities of 2019 [electronic resource] // Information portal "Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation". 2019 – Electron. data. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/obshchie_materialy/tezisy_doklada_glavy_minprirody_rossii_d_n_kobylkina_na_rasshirennom_zasedanii_kollegii_ministerstva / (accessed: 05/26/2021). – Title from the screen.
3. Ecologists: Leningrad region on the threshold of garbage collapse [electronic resource] // Information portal "Vestnik NWFO". 2021 – Electron. data. URL: http://sz-fo.ru/lenoblast/1492856 / (accessed: 29.05.2021). – Title from the screen.
4. Searches took place at the sites of the garbage "MPBO-2" in Yanino and on Volkhonka [electronic resource] // Information portal "47 news". 2020 – Electron. data. URL: https://47news.ru/articles/176023 / (accessed 29.05.2021). – Title from the screen.
5. Reform of the treatment of MSW in the Leningrad region: what is saddled and what will be [electronic resource] // Information portal "online 47". 2020 – Electron. URL data: https://online47.ru/2020/01/09/reforma-obrashcheniya-s-tko-v-lenoblasti-chto-sdelano-i-chto-budet-84714 (accessed: 29.05.2021). – Title from the screen.
6. Territorial scheme of waste management, including solid municipal waste [electronic resource] // Information portal "Committee of the Leningrad region on waste management". 2019 – Electron. data. URL: https://waste.lenobl.ru/ru/deiatelnost/tershema / (accessed: 05/26/2021). – Title from the screen.
7. Amendments to the Resolution on the Rules for equipping vehicles of categories M2, M3 and vehicles of category N used for the transportation of dangerous goods with GLONASS or GLONASS/GPS satellite navigation equipment reform [electronic resource] // Information portal "SNTA". 2018 – Electron. URL data: https://www.snta.ru/press-center/pravila-osnashcheniya-transportnykh-sredstv-apparaturoy-sputnikovoy-navigatsiey / (accessed: 29.05.2021). – Title from the screen.
8. The authorities approved a single garbage operator for St. Petersburg and the region [electronic resource] // Information portal "RBC". 2020 – Electron. URL data: https://www.rbc.ru/business/30/09/2020/5f7214149a7947750d0a9db8 (date of reference: 06.06.2021). – Title from the screen.
9. Recycling [electronic resource] // Information portal "JSC Fleet No. 1 Specialtrans". 2020 – Electron. URL data: http://spest1.ru/deyatelnost/pererabotka (accessed: 06.06.2021). – Title from the screen.
10. There were only 15 effective garbage treatment projects in Russia [electronic resource] // RBC Information Portal. 2019 – Electron. URL data: https://www.rbc.ru/business/21/08/2019/5d5bf68d9a794736cdbe53ee (date of reference: 06.06.2021). – Title from the screen.
11. Waste as a source of income: fuel from garbage has found its buyer [electronic resource] // Delovoy Peterburg Information portal. 2021 – Electron. URL data: https://www.dp.ru/a/2021/04/28/Nevelikoe_v_poleznoe (accessed: 06/07/2021). – Title from the screen.
12. Garbage compromise of the city and the region [electronic resource] // Information portal "Unified regional operator". 2021 – Electron. URL data: https://eroperator.ru/#news (accessed: 06/07/2021). – Title from the screen.
13. Landfill "Novy Svet – Eco" [electronic resource] // Information portal "Prodex Energy". 2019 – Electron. URL data: https://prodex-energy.com/1348 / (accessed: 06/07/2021). – Title from the screen.

УДК 574.4

Разработка системы экологического менеджмента проекта секции Восточного пирса Новороссийского морского порта

М.А. Косовская[1], С.В. Тарасенко[2]
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, [1] MAKosovskaya@sevsu.ru, [2]svtarasenk@mail.sevsu.ru

Статья поступила 22.02.2023 г. после доработки 22.02.2023 г.

Аннотация

Экологическая обстановка во многих портах РФ неблагополучна. Так, например, в крупнейшем Новороссийском морском торговом порту, а также порту Туапсе расширение хозяйственной деятельности, связанной с нефтеперевалкой в береговой зоне черного моря и в открытом море, привело к ухудшению рекреационного потенциала близлежащих курортных районов и ОС в целом. Создание системы экологического менеджмента позволит минимизировать воздействие на окружающую среду Восточного пирса Новороссийского порта на стадии реконструкции объекта

Ключевые слова: экологический менеджмент, морской порт, выбросы, сбросы экологические аспекты, прямые аспекты, косвенные

Development of an environmental management system for the project of the Eastern Pier section of the Novorossiysk Sea Port

M.A. Kosovskaya[1],S.V Tarasenko[2]
Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, [1] MAKosovskaya@sevsu.ru, [2]svtarasenk@mail.sevsu.ru

Received 22.02.2023 y.; received in final form 22.02.2023 y.

Abstract

The environmental situation in many ports of the Russian Federation is unfavorable. So, for example, in the largest Novorossiysk commercial sea port, as well as the port of Tuapse, the expansion of economic activities related to oil transshipment in the coastal zone of the Black Sea and in the open sea has led to a deterioration in the recreational potential of nearby resort areas and the environment as a whole. The creation of an environmental management system will minimize the environmental impact of the East Pier of the Novorossiysk Port at the stage of reconstruction of the facility

Keywords: environmental management, seaport, emissions, discharges environmental aspects, direct aspects, indirect

Введение

Российская Федерация испокон веков была, есть и будет морской державой. И, как следствие развития страны в этом направление, это создание огромного количества морских портов.

Основная цель реализации стратегии развития инфраструктуры морских портов - удовлетворение потребностей российской экономики, внешней торговли и населения в перевалке грузов и обеспечении безопасности мореплавания в морских портах и на подходах к ним путем формирования инновационной инфраструктуры морских портов [1]. В Российской Федерации существует около 67 портов, расположенных на берегах пяти морских бассейнов. С ростом внедрения систем экологического менеджмента, а именно мероприятий и мер экологической безопасности, в обязательные условия при проектировании, строительстве, реконструкции было сконструировано некоторое количество портов. Из них ярко выделяются: Сабетта (арктический

порт на западном берегу Обской губы Карского моря), Усть-Луга (морской торговый порт (МТП) на северо-западе России, в Кингисеппском районе Ленинградской области), Новороссийский морской торговый порт» (НМТП) — российская компания, крупнейший портовый оператор, осуществляющая свою деятельность в Новороссийском морском порту [1].

Уровень загрязнения окружающей среды во многих портах РФ является довольно высоким. Так, например, в крупнейшем Новороссийском морском торговом порту, а также порту Туапсе расширение хозяйственной деятельности, связанной с нефтеперевалкой в береговой зоне черного моря и в открытом море, привело к ухудшению рекреационного потенциала близлежащих курортных районов и ОС в целом.

Новороссийский морской торговый порт является самым одним из самых крупным морских портов по грузообороту в РФ, и самым большим на Черном море. Данный порт с экологической точки зрения является объектом значительного воздействия на все компоненты природной среды. В ходе активной эксплуатации НМТП воздействует не только на морскую акваторию, но и на воздух и на почву, что приводит к особенно тщательному контролю воздействия данного объекта на окружающую среду. Однако, продимая реконструкция порта позволит не допустить и исключить значительное воздействие осуществляемое ранее.

Цель статьи (постановка задач)

Цель работы: разработка экологической часть проекта причала Восточного пирса Новороссийского морского порта с учетом принципов экологического менеджмента.

Для достижения поставленной цели были разработаны следующие задачи:

- анализ возможности внедрения систем экологического менеджмента морских портов в мире и РФ;
- проведение предварительного экологического анализа (ПЭА) разработанного проекта Восточного пирса, включая анализ прямых, косвенных и значимых экологических аспектов,
- разработка рекомендаций по внедрению систем экологического менеджмента.

Постановка проблемы

Для улучшения конкурентоспособности и выхода на мировую арену с 2022г. запланирована полномасштабная реконструкция порта, включая не только улучшение и ремонт имеющегося оборудования, но и создание новых секций, соответствующих требованиям как морского международного законодательства, так и экологического

Капитаном порта была предложена идея создания секции Восточного пирса в соответствии с требованиями экологического менеджмента. Экологический менеджмент позволяет не только минимизировать воздействие на окружающую среду проекта реконструкции намечаемой деятельности, но за счет мировых тенденций усилить конкурентную важность порта на мировом уровне. При этом экологический менеджмент, проводимый согласно принципам, разработанным в ISO 14001, в отличие от менеджмента экологического и менеджмента экологизованного позволяет не проводить верификацию, оставаясь, максимально приближенным к международным требованиям.

Разработанный проект имеет важные конструкционные особенности, модернизирующие имеющиеся на более высоком технологическом уровне. В связи с тем, что причал проектируется на пирсе с увеличением глубин от корня по направлению в море, конструктивно причал разбит на два участка с проектной глубиной 7,15 и 9,75 м соответственно. Гравитационная стенка выполняется из массивовой кладки высотой 8,05 м и 10,65 м для участков 1 и 2. Непосредственно за гравитационной стенкой отсыпается разгрузочная каменная призма из камня-окола. Верхнее строение выполняется из железобетона. Проектируемый причал оснащается прикордонными крановыми путями на шпальном основании, также оснащается шестью швартовными устройствами расчётным усилием 75 тс и отбойными устройствами с шагом 4,0 м в количестве 37 штук. Описываемые особенности позволяют уменьшить антропогенную нагрузку на окружающую среду и более рационально использовать выделенную территорию.

Результаты исследований

Для минимизации воздействия разрабатываемого проекта в соответствии с требованиями экологического менеджмента, был проведен предварительный экологический анализ (ПЭА). На рисунке 1 представлены основные источники химического загрязнения, выявленные в ходе анализа. Само проведение ПЭА включает комплексную оценку источников загрязнения окружающей среды, выделений, выбросов, сбросов и обработку отходов.



Рис.1 Инвентаризация источников загрязнения ОПС

Вся хозяйственная деятельность порта является источником потенциального воздействия на компоненты окружающей среды, а сама территория - местом повышенного загрязнения. Процессы технологического обеспечения функционирования порта, обслуживания механизмов, постановок судов, перегрузки грузов повышают уровень загрязненности акватории и воздушной среды. Созданные портами локальные зоны загрязнения окружающей среды объединят в себе различные виды антропогенного загрязнения, зависящие как от видов транспорта, так и видов проводимых технологических операций, хранения, накопления, обработки, погрузки, принятия грузов, стоянка, швартовка, бункеровка судов, ремонт портового оборудования и судов, а так же пассажирские операции.

Для многих производственных процессов в портах и судоремонтных предприятиях характерна большая запыленность. Воздействие пыли определяется ее химическим составом. Пыль, в состав которой входит диоксид кремния, при длительном вдыхании может приводить к целому ряду профессиональных заболеваний, например, заболеваний легких, глаз и кожи. Испарение вредных веществ в виде аэрозолей, паров, тумана, а также отработавших газов проникают в организм человека через легкие, кожу, желудочно- кишечный тракт и вызывают профессиональные заболевания и отравления [3,4,5].

Сточные воды с судов, акваторий портов и судоремонтных предприятий содержат хозяйственно-бытовые стоки, фекальные и подсланевые воды. Они характеризуются высоким уровнем бактериального загрязнения ввиду присутствия бактерий, грибов, мелких водорослей. В портах, на судоремонтных и судостроительных заводах производственные процессы сопровождаются высоким шумовым воздействием и вибрацией. Они сказываются, прежде всего, на работниках, занятых управлением механизмами и оборудованием, а также на производственный персонал этих предприятий, население, животных и, птиц находящихся в районе этих предприятий.

Большие неприятности создает технологически примитивная перевалка угля в морских портах, в результате чего поступает большое количество жалоб от жителей близлежащих районов на шум по ночам, на грязные подоконники и занавески, на пленку угольной пыли в акватории

портов [4,6,7].

Имеют случаи выделения в атмосферу токсичных веществ (сероводорода, углеводородов) из танков судов в процессе погрузки по мере их вытеснения погружаемым нефтепродуктом. В результате деятельности портов, в донных отложениях портовых акваторий происходит регулярное накопление продуктов антропогенного воздействия. Так, в донных отложениях портов наблюдаются высокие концентрации нефтепродуктов, тяжелых металлов, фенолов, СПАВ, и других токсических соединений. Это все приводит к вторичному загрязнению морской воды при проведении дноуглубительных работ и дампинге. Следует учесть, что одним из немаловажных источников поступления загрязняющих веществ в прибрежные районы являются аварийные ситуации при погрузочно- разгрузочных работах с нефтепродуктами и другими веществами в портах [4,8,9,10]

Многие морские акватории прибрежных бухт в результате бесконтрольного уничтожения (затопления) пришедших в негодность различных изделий, конструкций и материалов являются загрязненными, а уровень загрязнения эстуарий приближается к катастрофическому.

Комплексными гидрохимическими обследованиями акваторий, прилегающих к зоне саммита АТЭС, установлены крайне высокие уровни загрязнения донных осадков и водных масс тяжелыми металлами, нефтеуглеводородами, хлорорганическими соединениями, токсинами биологического происхождения. Установлено негативные воздействия отдельных загрязнений на физиологическое состояние водных животных, выражающиеся в высоком уровне гистопатологий и различных заболеваний гидробионтов, в том числе промысловых объектов [4,11,12].

В ряде акваторий полуострова Саперный, где отмечены уровни загрязнений, многократно превышающие ПДК, имеют место плантации по выращиванию гидробионтов (моллюска гребешка), что представляет реальную угрозу здоровью людей при потреблении морепродуктов. Токсикологический анализ морских грунтов и воды на акваториях острова Русский показал на наличие токсичных и потенциально токсичных видов и клонов микроводорослей, продуцирующих опасные для человека и животных биотоксины, вызывающие диарейные, амнезийные и нервнопаралитические отравления. Впервые обнаружены виды микроводоросли, способные продуцировать политоксины, распространявшиеся не только по пищевым цепям, но и с аэрозолями над поверхностью воды. В этих случаях возможно массовое отравление людей, находящихся вблизи береговой полосы (симптомы отравления сходны с таковыми при применении отравляющих веществ рицина, применяющегося как биологическое оружие) [4,6,7,11].

На проектируемом объекте основными источниками загрязнения являются: процессы погрузки/разгрузки, хранения грузов, используемая техника и т.д. Источниками выделения загрязняющих веществ являются оборудования всех описанных процессов.

Основными источниками воздействия на атмосферный воздух при эксплуатации объекта проектирования является используемая погрузочная техника, техническое оборудование, портовые перегрузочных устройства и механизмы.

В ходе ПЭА было выявлено, что основными загрязняющими веществами, превышающими нормативные показатели, являются: оксид железа, углерод (сажа), бенз(а)пирен и неорганическая пыль (70-20%).

Сточные воды, образующиеся в ходе эксплуатации проектируемого объекта, содержат хозяйственно-бытовые стоки, фекальные, подсланевые воды и ливневые стоки. Такие воды, могут содержать нефтепродукты, большое количество взвешенных веществ, иметь бактериальное загрязнение в виде грибов, бактерий и водорослей. Проектом предусмотрена передача ливневых и подсланевых вод по договору на очистку и утилизацию; хозяйственно-бытовая вода выпускается в канализационную систему без дополнительной очистки. Разработанным проектом предусмотрено образование на территории проектируемого объекта отходов производства и потребления. По договору отходы будут вывозиться раз в неделю, отходы I и II классов опасности на объекте образовываться не будут. По результатам проведения ПЭВ выделяются прямые и косвенные экологические аспекты. Разработанные аспекты представлены в таблице 1.

Разработанная система экологического менеджмента представляет выявление не только прямых и косвенных аспектов, но и значимых [1,2,3]

Прямыми аспектами, которыми предприятие может управлять, являются: выбросы в атмосферу, шум и электромагнитное излучение от использования погрузочной техники, портовых перегрузочных устройств и механизмов, постановки/швартовки морского грузового транс-

порта, использование грузовых/товарных поездов, сбросы сточных вод с судов, акваторий портов, содержащих хозяйственно-бытовые стоки, фекальные и подсланевые воды, риск возникновения чрезвычайных ситуаций экологического характера. Из них значимыми, то есть, оказывающими значительное воздействие на окружающую среду, являются: выбросы в атмосферу, шум и электромагнитное излучение от использования погрузочной техники, портовых перегрузочных устройств и механизмов, постановки/швартовки морского грузового транспорта, использование грузовых/товарных поездов [1,4].

***Таблица 1**. Экологические аспекты*

Прямые аспекты	Косвенные аспекты
Выбросы в атмосферу и сбросы в водоемы Производство отходов, их вторичная переработка и утилизация Использование недр и загрязнение почвы Использование природных ресурсов, сырья и энергии Влияние на биоразнообразие Использование транспорта Риск возникновения чрезвычайных ситуаций экологического характера	Аспекты, связанные с продукцией (дизайн, упаковка, транспортировка, первичное и вторичное использование, утилизация) Капитальные инвестиции, кредиты, услуги страхования Выбор и использование услуг сторонних организаций Административные и плановые решения Ассортимент выпускаемой продукции Экологическая деятельность поставщиков и подрядчиков

Косвенные аспекты, не регулируемые предприятием: аспекты, связанные с перевалочным грузом (вид/состав, транспортировка), экологическая деятельность поставщиков и подрядчиков, выбор и использование услуг сторонних организаций, финансовые затраты на природопользование, административные и плановые решения.

По результатам проведенных анализов были разработаны различные природоохранные мероприятия, позволяющие минимизировать воздействие НМТП на окружающую среду.

На базе проектирование были предложены следующие мероприятия по снижению загрязнения атмосферного воздуха в период эксплуатации причального сооружения [6,8,11-13]:

- осуществление надлежащего контроля за технологией проведения работ, а также за состоянием техники;
- своевременный профилактический ремонт судовых установок, погрузочных и обслуживаемых механизмов;
- рассредоточение во времени работы техники и оборудования, не участвующих в едином технологическом процессе;
- техническое обслуживание и ремонт оборудования и технических плавсредств осуществлять в соответствии с графиком ремонтов оборудования, который должен разрабатываться техническими службами подрядчика;
- применение технически исправных плавсредств с отрегулированной топливной аппаратурой, обеспечивающей выброс загрязняющих веществ с выхлопными газами в пределах установленных норм;
- установка и применение пушек подавления пыли водяным туманом «CONRAD», позволяет уменьшить разлет угольной пыли, образовывающейся при перегрузке, и распыление ее атмосферным воздухом;
- установка и использованием мокрых пылеуловителей для работы с угольной пылью «ТОРНАДО»

Выявленные значимые экологические аспекты позволяют разработать природоохранные мероприятия, направленные не только на уменьшение воздействия на конкретную среду, но и снизить воздействие разрабатываемого проекта в целом [11-20].

В ходе проектирование были предложены следующие мероприятия по снижению загрязнения атмосферного воздуха в период эксплуатации причального сооружения: установка и применение пушек подавления пыли водяным туманом «CONRAD» и использование мокрых пылеуловителей для работы с угольной пылью «ТОРНАДО».

В целях охраны и рационального использования земельных ресурсов, а также недопущения их истощения в период строительства, реконструкции и эксплуатации предусмотрены:

- проведение плановых обследований сооружения;
- ведение работ строго в границах территории под строительство и реконструкцию, не допуская сверхнормативного использования дополнительных площадей, связанного с нерациональной организацией строительного потока;
- использование машин и механизмов, имею-

щих минимально возможное удельное давление ходовой части на грунты и почвы;
- складирование на специальных площадках строительных конструкций;
- ограждение технологической площадки по всему периметру с обеспечением въезда - выезда на территорию площадки;
- устройство дорог с твердым покрытием;
- устройство специально оборудованных площадок для временного хранения строительных ресурсов;
- организация систем селективного сбора и площадок сбора строительного мусора и мусора, образовавшегося в ходе периода эксплуатации;
- временное накопление отходов в специально организованных местах, исключающих контакт отходов с почвой и атмосферой;
- рациональная компоновка объектов, позволяющая снизить площадь земель;
- вовлеченных непосредственно в строительство;
- рациональное использование материальных ресурсов.

В целях охраны и рационального использования земельных ресурсов, а также недопущения их истощения и деградации при эксплуатации предусмотрены:
- Сбор, очистка и отвод с последующей очисткой сточных вод;
- Рациональное использование материальных ресурсов, снижение объемов отходов производства с их утилизацией и обезвреживанием;
- Организация системы селективного сбора и временного накопления образующихся отходов;
- Контроль своевременного вывоза отходов с территории, состоянием мест временного накопления отходов.
- Выполнение запланированных мероприятий позволит свести к минимуму воздействие, оказываемое на территориальные и земельные ресурсы.

В целях охраны геологической среды от геохимического воздействия проектом предусматривается:
- обслуживание, ремонт и заправка строительной техники, погрузочной и транспортной техники за пределами технологической площадки;
- создание площадок для хранения строительных материалов с твердым покрытием;
- временные проезды, площадки погрузки и разгрузки материалов и отходов предусмотрены с твердым покрытием;
- предусмотрена организация сбора и очистка дождевых сточных вод с этих площадок до рыбохозяйственных нормативов;
- в период строительства, реконструкции и эксплуатации предусмотрена организация сбора и временного накопления отходов на специальных площадках, оборудованных специальным твердым покрытием.

Выполнение запланированных мероприятий позволит свести к минимуму воздействие, оказываемое на геологическую среду [20].

Для снижения ожидаемого акустического воздействия от проведения работ предусмотрены следующие мероприятия:
- ограждение технологической площадки;
- использование техники с высоким уровнем шума в дневное время суток; на периоды вынужденного простоя или технического перерыва двигатели необходимо выключать;
- выбор рациональных режимов работы оборудования и механизмов, производящих шумовое воздействие;
- выбор оборудования и техники с шумовыми характеристиками, обеспечивающими соблюдение нормативов по шуму на рабочих местах и в ближайшей жилой застройке;

Шумозащитных мероприятий, предусмотренных проектом достаточно для обеспечения допустимых уровней шума у объектов нормирования.

По завершению работ, предусмотренных проектом, грузооборот и параметры технологических операций (производственного процесса) не изменятся. Таким образом, дополнительных мероприятий в период эксплуатации объекта не требуется.

На этапе эксплуатации сооружения экосистема бассейна является уже измененной вследствие ранее проведенных строительных работ. Возможными мероприятиями по сохранению биоты и экосистемы, являются:
- разработка программы эколого-рыбохозяйственного мониторинга;
- направление компенсационных средств за наносимый ущерб водным биоресурсам, в соответствии с порядком, определенным

действующим законодательством.

Такие технические решения и мероприятия по контролю над их проведением позволят свести к минимуму возможное воздействие на водную биоту.

Мероприятия по сбору, использованию, обезвреживанию, транспортировке и размещению опасных отходов [11,17,19].

Требования к площадкам временного накопления устанавливаются экологическими, санитарными, противопожарными и другими нормами и правилами, а также ведомственными актами МПР России, Минздрава России, Госгортехнадзора России и некоторых других министерств и ведомств. В соответствии с этими требованиями место и способ хранения отхода должны гарантировать следующее:

- отсутствие или минимизацию влияния размещаемого отхода на окружающую природную среду;
- сведение к минимуму риска возгорания отходов; недопущение замусоривания территории;
- удобство проведения инвентаризации отходов и осуществления контроля над обращением с отходами;
- удобство вывоза отходов.

На этапе эксплуатации сооружения экосистема бассейна является уже измененной, вследствие ранее проведенных строительных работ. Возможными мероприятиями по сохранению биоты и экосистемы, являются: разработка плана мониторинг состояния экосистемы прилегающей части акватории.

Выводы и рекомендации

В Российской Федерации существует около 67 портов, расположенных на берегах пяти морских бассейнов. С ростом внедрения систем экологического менеджмента, а именно мероприятий и мер экологической безопасности, в обязательные условия при проектировании, строительстве, реконструкции было сконструировано некоторое количество портов. Из них ярко выделяются: Сабетта (арктический порт на западном берегу Обской губы Карского моря), Усть-Луга (морской торговый порт (МТП) на северо-западе России, в Кингисеппском районе Ленинградской области), Новороссийский морской торговый порт» (НМТП) —российская компания, крупнейший портовый оператор, осуществляющая свою деятельность в Новороссийском морском порту.

Причал конструктивно разбит на два участка с проектной глубиной 7,15 и 9,75 м соответственно и имеет основные размеры: длина 161,00 м, длина участков 18,5 и 142,5 м, ширина в голове 128,5, в корне 107,00 м, площадь 19 874,75 м^2. Каменная постель выполняется из уплотнённого камня 15...100 кг толщиной 0,5...1,0 м, шириной поверху 6,8...7,5 м. Ширина передней бермы каменной постели 2,0 м, тыловой - 1,0 м. Гравитационная стенка выполняется из массивовой кладки высотой 8,05 м и 10,65 м для участков 1 и 2 соответственно. Непосредственно за гравитационной стенкой отсыпается разгрузочная каменная призма из камня-окола. Верхнее строение выполняется из железобетона. Сборные железобетонные плиты размером в плане 2,86×1,20 м, 1,9×1,52 м и 3,1×1,52 м; тыловая зона - монолитное бетонное толщиной 22 см.

В ходе проведения предварительного экологического анализа было установлено, что основными загрязняющими веществами, превышающими нормативные показатели, являются: оксид железа, углерод (сажа), бенз(а)пирен и неорганическая пыль (70-20%). Вода загрязняется хозяйственно-бытовыми, ливневые стоками, фекальными, подсланевыми водами, содержащими нефть и нефтепродукты, СПАВы (синтетические поверхностно-активные вещества), пестициды, тяжелые металлы, диоксины. Так же оказывается незначительное негативное влияние на шум и водные биологические ресурсы.

В ходе разработки системы экологического менеджмента были выявлены прямые, косвенные и значимые экологические аспекты.

Прямые аспекты: выбросы в атмосферу, шум и электромагнитное излучение от использования погрузочной техники, портовых перегрузочных устройств и механизмов, постановки/швартовки морского грузового транспорта, использование грузовых/товарных поездов, сбросы сточных вод с судов, акваторий портов, содержащих хозяйственно-бытовые стоки, фекальные и подсланевые воды, риск возникновения чрезвычайных ситуаций экологического характера. Из них значимыми являются: выбросы в атмосферу, шум и электромагнитное излучение от использования погрузочной техники, портовых перегрузочных устройств и механизмов, постановки/швартовки морского грузового транспорта, использование грузовых/товарных поездов.

Косвенные аспекты: аспекты, связанные с перевалочным грузом (вид/состав, транспортировка), экологическая деятельность поставщиков и подрядчиков, выбор и использование услуг сторонних организаций, финансовые затраты на

природопользование, административные и плановые решения.

В современной глобальной экономике непрерывно возрастает значимость экологической и социальной ответственности. Сегодня в мире существуют тысячи стандартов и руководств по экологическим и социальным аспектам. Эти руководства и стандарты определяют требования и задачи. Однако основной проблемой является их практическое внедрение и реализация.

Система экологического менеджмента позволяет компаниям внедрить на предприятия требования этих руководств и стандартов в операционную деятельность путем организации комплекса четко сформулированных, повторяющихся процессов. Система менеджмента позволит последовательно выявлять и своевременно урегулировать проблемы, с которыми сталкивается предприятие, и таким образом предупредить превращение потенциальных рисков в реальные проблемы. Внедрение Системы может дать прямую коммерческую выгоду. Ресурсосбережение и более рациональное потребление энергии и сырья позволяет снизить производственные издержки. Сокращение объемов образования отходов и выбросов, организация их переработки способны свести к минимуму постоянно растущие затраты на утилизацию отходов. Конечной целью является создание единой интегрированной системы менеджмента, взамен отдельных систем управления качеством, охраны труда и безопасности, охраны окружающей среды.

Таким образом, на основе проведенных изысканий, установления климатических особенностей, выявления рисков и мероприятий, предлагаемых для внедрения на предприятие с целью снижения негативного воздействия на окружающую среду, разработанный проект будет соответствовать требованиям принципов экологического менеджмента, согласно ISO 140001 и СЭМА (система экологического менеджмента и аудита). И как следствие, рекомендуется к строительству и дальнейшей эксплуатации.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО 14001-2016 Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению. М.: Стандартинформ. 2017.
2. Гунькова А.Г. Оценка перспектив и эффективности внедрения системы экологического менеджмента с позиции комплексного анализа потенциала предприятия // Научный журнал НИУ ИТМО. — 2018. — № 1. — С. 126–136.
3. Ковригина Н.П., Попов М.А., Лисицкая Е.В. // Научная конференция ...2006. - С. 36.
4. Брюм А.М. и др. Технологическое проектирование морских портов. М.: Транспорт, 1971. Т. 3, № 1. С. 9-22. DOI: 10.21072/mbj.2018.03.1.02
5. Святохо Н.В. Система экологического менеджмента промышленного предприятия: сущность, стандарты, этапы внедрения / Н.В. Святохо, Р.А. Тимаев // Научный вестник: финансы, банки, инвестиции. — 2020. — № 1 (50). — С. 178-186.
6. Бабина Ю.В., Варфоломеева Э.А. Экологический менеджмент: учебное пособие /Ю.В. Бабина, Э.А.Варфоломеева. - М.: Изд-во «Перспектива», 2002. - 207 с.
7. Белов В.Г. Экологический менеджмент предприятия: Учебное пособие/ В.Г. Белов – М.: Логос, 2006. – 240 с
8. Кормина Л.А. Экологический менеджмент и аудит: учебное пособие /Л.А.Кормина, Л.Н. Бельдеева. Алт.гос.техн.ун-т им.И.И.Ползунова.- Барнаул, Азбука,2008. – 127с.
9. Серов Г.П. Экологический аудит: концептуальные и организационно-правовые основы / Г.П. Серов – М.: «Экзамен», 2000. – 768 с.
10. Трифонова Т.А. Экологический менеджмент: учебное пособие / Т.А.Трифонова, Н.В. Селиванова, М.Е. Ильина.- Владим. Гос. Ун-т, Владимир, 2003. - 291 с.
11. ГОСТ Р 54523-2011. Портовые гидротехнические сооружения Правила обследования и мониторинга технического состояния. Атмосфера. Классификация выбросов по составу. Приложение Б Положение о порядке составления и ведения эксплуатационно-технической документации по техническому контролю портовых гидротехнических сооружений.
12. ГОСТ Р 54523-2011. Портовые гидротехнические сооружения Правила обследования и мониторинга технического состояния. Атмосфера. Классификация выбросов по составу. Приложение Р Содержание справочника допустимых нагрузок на причал.
13. ГОСТ 17.2.1.01-76. Охрана природы. Атмосфера. Классификация выбросов по составу.
14. ГОСТ 17.2.1.03-84. Охрана природы. Атмосфера. Термины и определения контроля загрязнения.
15. ГОСТ 17.2.1.04-77. Охрана природы. Атмосфера. Метеорологические аспекты загрязнения и промышленные выбросы. Основные термины и определения.
16. ГОСТ 17.2.3.02-78. Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями.

17. ГОСТ 17.2.4.02-81. Охрана природы. Атмосфера. Общие требования к методам определения загрязняющих веществ
18. ГОСТ 17.1.3.13-86 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений;
19. ГОСТ 17.1.3.05.-82 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения нефтью и нефтепродуктами;
20. ГОСТ Р 56059-2014 Производственный экологический мониторинг. Общие положения.

References

1. GOST R ISO 14001-2016 Environmental management systems. Requirements and guidance for use. M.: Standartinform. 2017.
2. Gunkova A.G. Evaluation of the prospects and effectiveness of the implementation of the environmental management system from the position of a comprehensive analysis of the enterprise's potential // Scientific journal NRU ITMO. - 2018. - No. 1. - S. 126–136.
3. Kovrigina N.P., Popov M.A., Lisitskaya E.V. // Scientific conference ...2006. - S. 36.
4. Brum A.M. et al. Technological design of seaports. M.: Transport, 1971. V. 3, No. 1. S. 9-22. DOI: 10.21072/mbj.2018.03.1.02
5. Svyatokho N.V. The system of environmental management of an industrial enterprise: essence, standards, implementation stages / N.V. Svyatokho, R.A. Timaev // Scientific Bulletin: finance, banks, investments. - 2020. - No. 1 (50). — S. 178-186.
6. Babina Yu.V., Varfolomeeva E.A. Ecological management: textbook / Yu.V. Babin, E.A. Varfolomeeva. - M .: Publishing house "Perspekti-va", 2002. - 207 p.
7. Belov V.G. Environmental management of the enterprise: Study guide / V.G. Belov - M.: Logos, 2006. - 240 p.
8. Kormina L.A. Ecological management and audit: textbook / L.A. Kormina, L.N. Beldeev. Alt. State Technical University named after I.I. Polzunov. - Bornaul, Azbuka, 2008. - 127s.
9. Serov G.P. Ecological audit: conceptual and organizational and legal foundations / G.P. Serov - M .: "Exam", 2000. - 768 p.
10. Trifonova T.A. Ecological management: textbook / T.A. Trifonova, N.V. Seliva-nova, M.E. Ilyina.- Vladim. State. Univ., Vladi-mir, 2003. - 291 p.
11. GOST R 54523-2011. Port hydraulic structures Rules for the inspection and monitoring of the technical condition. Atmosphere. Classification of emissions by composition. Appendix B Regulations on the procedure for compiling and maintaining operational and technical documentation for the technical control of port hydraulic structures.
12. GOST R 54523-2011. Port hydraulic structures Rules for the inspection and monitoring of the technical condition. Atmosphere. Classification of emissions by composition. Appendix P Contents of the directory of permissible loads on the berth.
13. GOST 17.2.1.01-76. Protection of Nature. Atmosphere. Classification of emissions by composition.
14. GOST 17.2.1.03-84. Protection of Nature. Atmosphere. Terms and definitions of pollution control.
15. GOST 17.2.1.04-77. Protection of Nature. Atmosphere. Meteorological aspects of pollution and industrial emissions. Basic terms and definitions.
16. GOST 17.2.3.02-78. Protection of Nature. Atmosphere. Rules for establishing permissible emissions of harmful substances by industrial enterprises.
17. GOST 17.2.4.02-81. Protection of Nature. Atmosphere. General requirements for methods for the determination of pollutants
18. GOST 17.1.3.13-86 Nature Protection. Hydrosphere. General requirements for the protection of surface waters from pollution;
19. GOST 17.1.3.05.-82 Nature Protection. Hydrosphere. General requirements for the protection of surface waters from pollution by oil and petroleum products;
20. GOST R 56059-2014 Industrial environmental monitoring. General provisions.

УДК 574.4

Анализ ответных реакций дендроформ зон общего пользования Севастополя на действие антропогенных факторов

М.А. Косовская[1], Н.Н.Ленивенко[2]

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, [1] MAKosovskaya@sevsu.ru, [2]nnlenivenko@mail.sevsu.ru

Статья поступила 22.02.2023 г. после доработки 22.02.2023 г.

Аннотация

Особенности флорогенеза экологической урбоэкосистемы г. Севастополя позволяют провести анализ динамики изменения абиотических факторов, влияющих на состояния зеленых насаждений мест общего пользования муниципальных округов г. Севастополя. Проведенные исследования выявили высокую антропогенную нагрузку в точках с очаговыми биологическими загрязнениями, недостаточность полива и в целом ухода за высаженными растениями так же усугубляет ситуацию. Кроме того, отсутствие мероприятий по защите растений зеленых насаждений общего пользования в период реконструкции дорог так же приводит к их угнетённому состоянию и так же их гибели.

Ключевые слова: абиотические факторы**,** загрязнение воздуха, урбанизированная среда, зеленые насаждения общего пользования, антропогенные факторы, эдафические факторы

Analysis of the responses of dendroforms of the common areas of Sevastopol to the impact of anthropogenic factors

M.A. Kosovskaya[1], N.N. Lenivenko[2]

Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, [1] MAKosovskaya@sevsu.ru, [2]nnlenivenko@mail.sevsu.ru

Received 22.02.2023 y.; received in final form 22.02.2023 y.

Abstract

Features of florogenesis of the ecological urban ecosystem of Sevastopol allow us to analyze the dynamics of changes in abiotic factors affecting the state of green spaces in public places of the municipal districts of Sevastopol. The conducted studies have revealed a high anthropogenic load at points with focal biological pollution, the lack of irrigation and, in general, care for planted plants also exacerbates the situation. In addition, the lack of measures to protect plants of public green spaces during the reconstruction of roads also leads to their oppressed state and also to their death

Keywords: abiotic factors, air pollution, urbanized environment, public green areas, anthropogenic factors, edaphic factors

Введение

Урбанизированная городская среда является сложной экосистемой, состоящей из тесно связанных между собой компонентов природной среды, которая изменяется в процессе постоянно оказываемого на нее антропогенного воздействия, и компонентов техносферы, искусственно созданной в процессе жизнедеятельности человека.

Одним из основных средообразующих компонентов городской среды является зеленые насаждения общего пользования. [1,2] Они выполняют огромную функцию в защите населения от неблагоприятных факторов, возникающих в городе, и позволяют жителям проводить время в

окружение природы, тем самым выполняя рекреационную функцию. Кроме того, они выполняют средообразующую, структурно-планировочную, декоративно-художественную и санитарно-гигиеническую функции. [1,2] На качество выполнения этих функций влияет морфо-физиологическое состояние растений. Контроль состояния древесных насаждений таких территорий является одним их приоритетных направлений природоохранных мероприятий.

Цель статьи (постановка задач)

Цель исследования: оценка абиотических антропогенных факторов, вызывающих ответные реакции дендроформ зеленых насаждений общего пользования (ЗНОПы) г. Севастополя

Для достижения данной цели, были поставлены следующее задачи:

- изучить особенности флорогенеза экологической урбоэкосистемы г. Севастополя и определить важность средостабилизирующей роли зеленых насаждений в городской среде, выявить очаги заболеваемости дендроформ ЗНОПов для качественного выбора точек в районах исследования;
- проанализировать динамика изменения абиотических факторов, влияющих на состояние древесных насаждений;
- анализ ответные реакции дендроформ зелёных зон г. Севастополя;
- разработка рекомендаций по использованию полученных данных.

Постановка проблемы

Городская среда является сложной урбанизированной экосистемой, состоящей из компонентов техносферы, искусственно созданной в процессе жизнедеятельности человека, и компонентов природной среды, все эти составляющие, тесно переплетаясь между собой, оказывают непосредственное влияние, как на компоненты, так и на состояние урбаносреды в целом. Особенно подвержены антропогенному воздействию зеленые насаждения. Зелёные насаждения урбанизированной среды разделяются в зависимости от предъявляемых к ним требований на три группы: зеленые насаждения общего пользования (ЗНОПы), специального пользования, и ограниченного пользования. Наиболее распространёнными в городской среде являются ЗНОПы, создание которых, направлено как на повышения эстетической вида города, так и выполнение рекреационных и защитных функции [1,3,4].

Неблагоприятные климатические условия, биологическое загрязнение, в частности поражения болезнями и вредителями, недостаток питательных веществ, антропогенное воздействие – все эти факторы приводят к стрессовому состоянию растений, повышая нагрузку на организм. [5] Такая нагрузка вызывает сначала дестабилизацию, потом чаще всего вызывает нормализацию и повышение устойчивости, а при превышении отрицательного влияния — гибель растений или их частей. Стресс не позволяет растению реализовать максимальный генетический потенциал, выполнять свои экологические функции, но, счет него растение способно к адаптации в неоптимальной среде. Пока не превышаются пределы приспособляемости растений (эластичный стресс), они реагируют на отрицательные условия стрессовыми реакциями в форме изменения морфологических, физиологических и биохимических функций, тем самым сводят наносимый вред до определённого уровня. Адаптацией обмена веществ к новым условиям растения снова могут достигать нормальных жизненных функций (гомеостаза). [6] Если стресс превышает генетически обусловленные пределы (пластичный стресс), возникают необратимые процессы, и растения отмирают. Наиболее сильно страдают растения от абиотических стрессовых экологических факторов, они обусловливаются климатическими и почвенными условиями, технологиями, наличием вредных веществ в атмосфере. Они могут быть природного и антропогенного происхождения и действуют всегда комплексно. Под действием определенного стрессового фактора активизируются физиологические и биохимические реакции растений. Таким образом, стресс косвенным путем изменяет предрасположенность растений к поражению болезнями [6].

В 2020, 2021 и в 2022 годах включительно, в парках и скверах города Севастополя были выявлены многочисленные очаги биологического загрязнения. Однако динамика предыдущих исследований не показала ослабленность пораженных растений. Было выдвинуто предположение о наличие в районах исследования дополнительных стрессовых факторов абиотического происхождения, выступающих для биологического загрязнения в роли катализаторов.

Результаты исследований

Районами исследования были выбраны все административные районы города, в которых

были зафиксированы очаги биологического загрязнения, в частности Ленинский, Балаклавский, Нахимовский и Гагаринский МО. Исследование проводилось на территории зелёных насаждениях общего пользования, к которым относятся скверы, парки, бульвары, озеленённые полосы вдоль улиц и набережных, а так же лесопарки. Выбранные точки относятся к категории ЗНОПов – скверы, которые исходя из своего расположения, являются самыми антропогенно нагруженными территориями [7] Кроме того, во всех выбранных точках наблюдалось очаговое поражение древесных насаждений различными заболеваниями. Объектами исследования выбраны *Ácer platanoídes* и *Plátanus orientalis*, произрастающие во всех выбранных точках. Все выбранные точки находятся вдоль проезжей части, рядом находятся остановки общественного транспорта, светофоры и пешеходные переходы. Вблизи с точками 1-Б,4-А находятся железнодорожные пути. На состояние исследуемых дендроформ и на выполнение ими своих функций влияют большое количество абиотических экологических факторов как природного, так и антропогенного происхождения. В ходе исследования анализировались микро-климатические, эдафические и антропогенные факторы.

С годовыми отклонениями климатических условий от многолетних средних данных напрямую связаны колебания в степени поражения древесных насаждений вредителями и болезнями, их засоренности, однако по данным статистики за последние 5 лет такие отклонение выявлены не были [1,3,4].

К антропогенным факторам, влияющим на состояние дендроформ, в первую очередь относится загрязнение атмосферного воздуха. По проведенному анализу статистических данных за последние 10 лет было выявлено, что основными источниками загрязнения воздуха в условиях города являются автомобильный транспорт и промышленные предприятия, причем количество стационарных источников загрязнения не менялось в течение последних 5 лет. [1,3,4] Основными из них являются:

- ГУПС «Севтеплоэнерго»;
- ООО «Благоустройство города Севастополя»;
- ГУП РК «Черноморнефтегаз»;
- ГУПС «Водоканал»;
- АО «Балаклавское рудоуправление им. А.М. Горького»;
- ВО «Технопромэкспорт».

По данным Южного межрегионального управления Федеральной службы по надзору в сфере природопользования в 2021 году суммарные выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников в атмосферный воздух на территории города Севастополя составили 6,882 тыс. тонн.

На сегодняшний день наибольшее количество промышленных объектов, выбрасывающих в атмосферный воздух поллютантов, приходится на Гагаринский МО (18 предприятий). В Нахимовском районе – 7 предприятий, выбрасывающих значительное количество загрязняющих веществ. В Ленинском районе - 11 предприятий. Наиболее чистым районом по всем основным показателям (10 предприятий) является Балаклавский МО [1,3,4]. Дополнительных стационарных источников за периоды исследования выявлено не было.

Доля же выбросов загрязняющих веществ от передвижных источников за последние годы постоянно возрастает. Высокий уровень автомобилизации и отсутствие устройств очистки отработавших газов автотранспорта является причиной этого отрицательного явления и общегосударственной проблемой.

В целом картина загрязнения атмосферного воздуха за последние годы выглядит стабильно. Показатели наблюдаемых загрязняющих веществ в атмосферный воздух города Севастополя (сернистый ангидрид, диоксид азота, оксид углерода, пыль, формальдегид) находятся в пределах нормы [1,2,3,7].

При исследовании экологической ситуации в муниципальных округах Севастополя нами были выбраны участки, расположенные в местах разной степени оживленности транспортного движения и вблизи крупных промышленных предприятий.

Точки выбирались исходя из ранжирования районов по степени загрязнения атмосферного воздуха. В качестве исходной информации при выборе точек использовались данные по загрязнению воздуха за последние пять лет по всем районам города, согласно отчетам основных стационарных постав государственной службы наблюдений (ГСН). Были выбраны пять точек. В качестве контрольной точки была взята точка на территории Малахового Кургана. Во всех исследуемых точках основным источником загрязнения, воздействующем на объекты исследования, являются автомобили. Для более точного анализа был проведен анализ количества автомобилей путем прямого подсчета и оценена загруженность улиц в выбранные периоды. Замеры проводились путём прямого подсчёта транспортных

средств, в осенне-весенний период во время максимальной и минимальной загруженности автомагистралей. Результаты исследования показали, что все исследуемые районы являются значительно нагруженными.

Замеры концентраций оксида углерода (CO) и сернистого ангидрида проводились в весенне-осенний период универсальным газоанализатором УГ-2. Полученные данные были приведены в кратность ПДК (ПДКс.с), что соответствует 3,0 мг/м^3 (СНиП).

Исследования, проведенные для определения содержания оксида углерода в воздухе города Севастополя, показали, что более высокое его содержание было обнаружено в Нахимовском районе, предположительно это связанно с дорожными ремонтными работами от Лабораторного шоссе до улицы Николая Островского. Наиболее низкие концентрации по данному показателю были выявлены в Балаклавском районе, где они составили в осенний период 1,7 ПДК, в весенний – 1,2 ПДК. По результатам проведенных замеров были построены гистограммы 1 и 2.

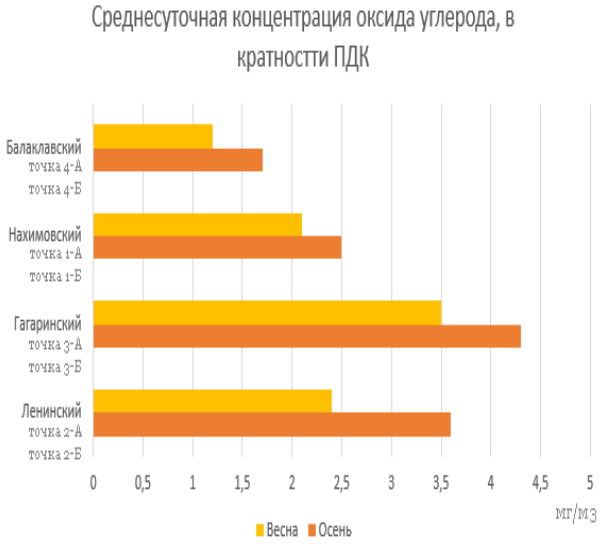


Рис.1 Результаты замеров концентраций оксида углерода в исследуемых районах города.

В точках с буквой «Б» выявлены объекты с очагом биологического заболевания, с буквой «А» - заболевания отсутствуют.

По результатам, полученным в ходе исследования, показатели повышенных концентраций ангидрида сернистого наблюдались в приземном слое атмосферы в Нахимовском районе – 3,34 ПДК в осенний период и 1,05 ПДК в весенний период. Наименьшее содержание SO_2 в воздухе обнаружено в Балаклавском районе. Превышение концентрации ПДК в осенний период составило 1,54 ПДК. В весенний период превышение содержания в атмосферном воздухе загрязнителя практически отсутствовало.

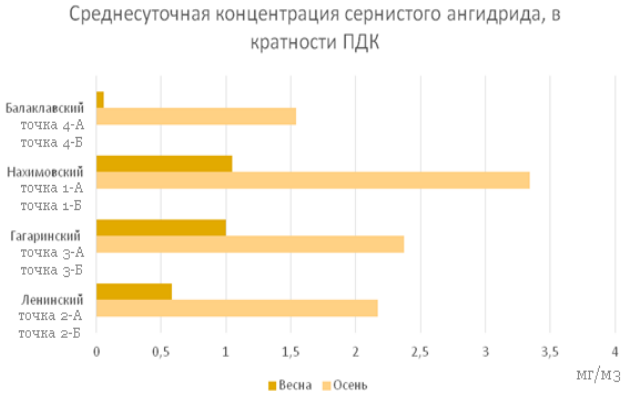


Рис.2 Среднесуточная концентрация сернистого ангидрида SO_2 в воздухе

Согласно постановлению правительства г. Севастополя от 27.02.2015 г. № 116-ПП «Об утверждении Правил создания, охраны и содержания насаждений на территории города Севастополя» все исследуемые зелёные насаждения общего пользования являются инвазивными и высажены в разный период времени, как следствие требуют определённого регулярного ухода. Согласно данному документу сроки и кратность полива зависят от возраста растений, фазы развития и внешних условий, в вегетативный сезон кратность поливов должна составлять не менее 4-6 раз за сезон. За время исследования нами не было зафиксировано должного полива.

Эдафические факторы влияют не только на корневую систему дендроформ, но и на состояние всего дерева в целом [8]. В ходе камеральных исследований нами были проанализированы гигроскопическая влажность почвы, её засоленность, качественный и механический состав, а так же на наличие токсичности с помощью биотестирования.

Наименьшее процентное содержание влаги выявлено в точках Нахимовского района, наиболее влажная почва в точках Ленинского района, что свидетельствует о достаточном поливе данного района. Во всех исследуемых точках порог токсичности был превышен, что свидетельствует о засоленности почвы, наибольшее значение выявлено в точках Нахимовского и Ленинского районов. При проведении анализа на содержание кальция (Ca^{2+}) и магния (Mg^{2+}) в почве было вы-

явлено, что содержания магния превышает содержание кальция, что свидетельствует о повышенной щелочности почвы, наиболее это выражено в Ленинском и Гагаринском районах.

Значение водородного показателя во всех точках проявляется чуть выше, чем нейтральная, т.е. ближе к слабощелочной реакции почвы, наиболее высокий показатель pH выявлен в Нахимовском районе.

Длительное абиогенное воздействие на растительные формы зеленых зон урбаносред, вызывают ответные реакции. Реакции на стресс могут носить кратковременный и длительный характер [6]. Результатом длительного стресса могут быть морфологические изменения в форме листовой платины. Наиболее информативным параметром, иллюстрирующим негативные результаты действия абиотических факторов, является анализ флуктуирующей асимметрии (ФА) листовой платины исследуемых объектов [9,10,11,12]. Во всех выбранных точках были проведены анализы билатеральных отклонений в листьях *Plátanus orientalis*. На рисунке 3 приведены результаты замеров.

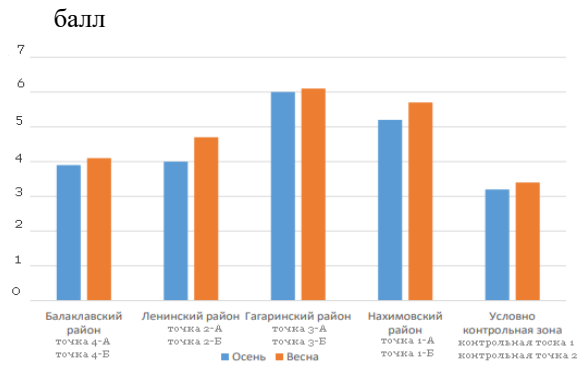


Рис.3 Результаты замеров по показателю ФА

На основании полученных результатов по ФА можно сделать вывод, что наиболее загрязненным районом города является Гагаринский, наименее – Балаклавский район.

По результатам сравнивания общих показателей была построена гистограмма, приведенная на рисунке 4. Для получения сравнительных результатов использовалась система начисления баллов по отдельным параметрам.

Таким образом, наиболее подвержен абиотическими факторами оказался Гагаринский район, наименьше других районов подвержен как антропогенному, так и всеми другими экологическими факторами Балаклавский район.

Аналогичные исследования были произведены в контрольной точке на Малаховом кургане. Результаты соответствуют всем нормативным параметрам, что позволяет использовать её как контрольную для дальнейших исследований.

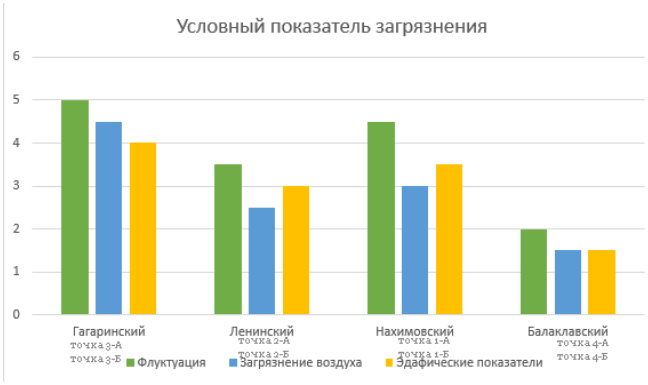


Рис.4 Бальное сравнение МО города по полученным результатам

Выводы и рекомендации

1. Особенности фитогенеза Севастополя как урбанизированой системы показало достаточно равномерное соотношение между зеленой зоной и городской застройкой [13.14,15]. Были выявлены очаги биологического загрязнения во всех МО города. Районами исследования были выбраны все административные районы города, в которых были зафиксированы очаги биологического загрязнения. Исследование проводилось на территории зелёных насаждениях общего пользования – скверах. Объектами исследования выбраны *Ácer platanoídes* и *Plátanus orientalis*, произрастающие во всех выбранных точках. Все выбранные точки находятся вдоль проезжей части, рядом находятся остановки общественного транспорта, светофоры и пешеходные переходы.

2. Экологическими факторами влияющие состояние зеленых насаждений города являются биотические и абиотические. К абиотическим факторам в первую очередь относятся антропогенные факторы и физические условия среды (микроклиматические и эдафические факторы).

По данным статистики за последние 5 лет такие отклонения микроклиматических факторах выявлены не были.

К основным источникам загрязнения бассейна атмосферного воздуха в условиях города является автомобильный транспорт и промышленные предприятия. Наиболее чистым районом по всем основным показателям является Балаклавский МО, наиболее загрязненным – Гагаринский район. Результаты замеров подтверждают данные статистики. Замеры проводились

по сернистому ангидриду и оксиду углероду, по условной ранжировке результаты замеров показали, что степень загрязнения оксидом углерода значительно выше в Гагаринском и Ленинском районах, концентрация сернистого ангидрида превышает ПДК в Нахимовском и Гагаринском районах.

Для анализа эдафических факторов, влияющих на состояние исследуемых дендроформ, были определены: механический состав почвы, гигроскопическая влажность, общая щелочность почвы, кальций и магний комплексонометрическим методом, pH солевой вытяжки из почвы и определение легкорастворимых соединений.

Во всех выбранных точках были проведены анализы билатеральных отклонений в листьях *Plátanus orientalis*. На основании полученных результатов по ФА можно сделать условно вывод, что наиболее загрязненным районом города является Гагаринский, наименее – Балаклавский район. Полученные результаты анализа флуктуирующей симметрии показали незначительное отклонения во всех выбранных точках, что может свидетельствовать либо о некорректном использовании данного параметра для исследуемых объектов, либо данный параметр ещё себя не проявил.

Таким образом, наиболее подвержен абиотическими факторами оказался Гагаринский район, наименьше других районов подвержен как антропогенному, так и всеми другими экологическими факторами Балаклавский район. Аналогичные исследования были произведены в контрольной точке на Малаховом кургане. Результаты соответствуют всем нормативным параметрам, что позволяет использовать её как контрольную для дальнейших исследований.

3. Таким образом, проведенные исследования выявили высокую антропогенную нагрузку в точках с очаговыми биологическими загрязнениями, недостаточность полива и в целом ухода за высаженными растениями так же усугубляет ситуацию. Кроме того, отсутствие мероприятий по защите растений зеленых насаждений общего пользования в период реконструкции дорог так же приводит к их угнетённому состоянию и так же их гибели.

Полученные данные могут быть использованы при фитомелиорации, озеленении и рациональном природопользовании зеленых зон г. Севастополя

Список литературы

1. Косовская М.А., Хренова Т.К., Лямина Н.В. Оценка функционального состояния дендроформ г.Севастополя в условиях интенсивной антропогенной нагрузки. Энергетические установки и технологии. 2021. Т. 7. № 1. С. 97-104.
2. Косовская М.А., Лямина Н.В., Хренова Т.К. Оценка влияния антропогенной нагрузки на жизненное состояние Styphnolobium Japonicum (L.) Schott Энергетические установки и технологии. 2022. Т. 8. № 2. С. 87-92/
3. Косовская М.А., Лямина Н.В., Хренова Т.К., Каширина Е.С. Оценка состояния атмосферного воздуха примагистральных территорий г.Севастополя Энергетические установки и технологии. 2020. Т. 6. № 1. С. 159-164
4. Косовская М.А., Лямина Н.В, Ленивенко Н.Н. Оценка динамики изменения степени аэрозагрязнения воздуха г.Севастополя Энергетические установки и технологии. 20212021. Т. 7. № 1. С. 105-113.
5. Горохов В.А. Городское зеленое строительство. Стройиздат. Москва, 1991. – 416
6. Селье Г. Стресс без дистресса / Г. Селье. – М: Прогресс, 1979. – 123 с.
7. Косовская М.А., Лямина Н.В., Хренова Т.К., Ленивенко Н.Н. Рекомендации по организации фитомониторинга г.Севастополя Энергетические установки и технологии. 2021. Т. 7. № 1. С. 114-120.
8. Косовская М.А., Лямина Н.В., Хренова Т.К. Оценка функционального состояния дендроформ г.Севастополя в условиях интенсивной антропогенной нагрузки Энергетические установки и технологии. 2021. Т. 7. № 1. С. 97-104
9. Косовская М.А., Лямина Н.В., Катвалюк А.Л., Ильязов Р.Г Методика экспресс-оценки состояния атмосферного воздуха биоиндикацией и биотестированием дендроформ. В книге: Техногенные системы и экологический риск. Тезисы докладов III Международной (XVI Региональной) научной конференции. Обнинск, 2020. С. 193-194.
10. Kosovskaya M., Lyamina N., Semenova E., Gnilomedova N., Kuzmin A., Tsokalo I. APPLICATION OF CONIFEROUS DENDROFORMS FOR BIOTESTING OF COASTAL URBAN ENVIRONMENTS В сборнике: E3S Web of Conferences. Сер. "Topical Problems of Agriculture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2020" 2020. С. 04037
11. Косовская М.А., Лямина Н.В., Александрова С.С., Шинкоренко А.А., Якименко Е.Ю. Анализ состояния атмосферного воздуха основных магистралей г.Севастополя В сборнике: Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность - 2019. Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. Под редакцией Л.И. Лукиной, Н.В. Ляминой. 2019. С. 834-839.
12. Косовская М.А, Шман С.С., Шинкаренко А.А., Костылев С.С., Раджабов В.Н., Семенова Е.С.,

Хренова Т.К. Анализ качества окружающей среды урбанизированных территорий в условиях автотранспортного загрязнения В сборнике: Морские исследования и рациональное природопользование. Материалы молодежной научной конференции. 2018. С. 295-297.
13. Зеленые насаждения как средство улучшения экологии города. Соловьева О.С. и др. 2010. – Научная электронная библиотека КиберЛенинка. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/
14. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.
15. Чернышенко О.В. Поглотительная способность и газоустойчивость древесных растений в условиях города. – М.: Изд-во МГУЛ, 2002. – 120 с.

References

1. Kosovskaya M.A., Khrenova T.K., Lyamina N.V. Assessment of the functional state of dendroforms in the city of Sevastopol under conditions of intense anthropogenic load. Energy installations and technologies. 2021. V. 7. No. 1. S. 97-104.
2. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Khrenova T.K. Evaluation of the impact of anthropogenic load on the life status of Styphnolobium Japoni-cum (L.) Schott Power Plants and Technologies. 2022. V. 8. No. 2. S. 87-92
3. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Khrenova T.K., Kashirina E.S. Assessment of the state of atmospheric air in the main areas of the city of Sevastopol Power plants and technologies. 2020. V. 6. No. 1. S. 159-164
4. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Lenivenko N.N. Evaluation of the dynamics of changes in the degree of air pollution in the city of Sevastopol Power plants and technologies. 20212021. V. 7. No. 1. S. 105-113.
5. Gorokhov V.A. Urban green building. Stroyizdat. Moscow, 1991. - 416
6. Selye G. Stress without distress / G. Selye. - M: Progress, 1979. - 123 p.
7. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Khrenova T.K., Lenivenko N.N. Recommendations for the organization of phytomonitoring in the city of Sevastopol Power plants and technologies. 2021. V. 7. No. 1. S. 114-120.
8. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Khrenova T.K. Evaluation of the functional state of dendroforms in the city of Sevastopol under conditions of intense anthropogenic load Power plants and technologies. 2021. V. 7. No. 1. S. 97-104
9. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Katvalyuk A.L., Ilyazov R.G. Methods for rapid assessment of the state of atmospheric air by bioindication and biotesting of dendroforms. In the book: Technogenic systems and ecological risk. Abstracts of the III International (XVI Regional) scientific conference. Obninsk, 2020, pp. 193-194.
10. Kosovskaya M., Lyamina N., Semenova E., Gnilomedova N., Kuzmin A., Tsokalo I. APPLICATION OF CONIFEROUS DENDRO-FORMS FOR BIOTESTING OF COASTAL UR-BAN ENVIRONMENTS In the collection: E3S Web of Conferences. Ser. "Topical Problems of Agri-culture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2020" 2020. P. 04037
11. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Aleksandrova S.S., Shinkorenko A.A., Yakimenko E.Yu. Analysis of the state of atmospheric air on the main highways of the city of Sevastopol In the collection: Environmental, industrial and energy security - 2019. Collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference. Edited by L.I. Lukina, N.V. Lyamina. 2019. S. 834-839.
12. Kosovskaya M.A., Shman S.S., Shinkarenko A.A., Kostylev S.S., Radzhabov V.N., Semenova E.S., Khrenova T.K. Analysis of the quality of the environment of urbanized territories in conditions of motor transport pollution In the collection: Marine research and rational environmental management. Materials of youth scientific conference. 2018. S. 295-297.
13. Green spaces as a means of improving the ecology of the city. Solovieva O.S. et al. 2010. – Cyber-Leninka Scientific Electronic Library. – Access mode: https://cyberleninka.ru/
14. Alekseev V.A. Diagnostics of the vital state of trees and forest stands // Lesovedenie. 1989. No. 4. S. 51–57.
15. Chernyshenko O.V. Absorption capacity and gas resistance of woody plants in urban conditions. - M.: MGUL Publishing House, 2002. - 120 p

УДК 574.4

Анализ ответных реакций древесных насаждений скверов г.Севастополя на действие биологических факторов

М.А. Косовская[1], Н.Н.Ленивенко[2]
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, [1] MAKosovskaya@sevsu.ru, [2]nnlenivenko@mail.sevsu.ru

Статья поступила 22.02.2023 г. после доработки 22.02.2023 г.

Аннотация

Совокупность ответных физиолого-биохимических реакций растений в ответ на действие стрессоров биогенной природы зависит от интенсивности и длительности их воздействия. Действие стресс факторов активизирует активность защитных механизмов различной природы. При своевременном удалении стресс-фактора морфофизиологическое состояние растения может вернуться к норме. В Севастополе наблюдается очень высокая заселенность деревьев P.orientalis P.orientalisовой кружевницей, которая является карантинным вредителем и монофагом. Полученные данные показали, что в условно чистых точках, взятых за контроль, деревьев, имеющих биотическое загрязнение, в 15 раз меньше, чем в наиболее пораженных точках. Данные по биологическому загрязнению подтвердили ранжирование по антропогенному загрязнению.

Ключевые слова: биотические факторы**,** зеленые насаждения общего пользования, стрессы биогенной природы, морфофизиологическое состояние растения, антропогенные факторы, карантинные вредители

Analysis of the response reactions of tree plantations in the public gardens of Sevastopol to the action of biological factors

M.A. Kosovskaya[1], N.N. Lenivenko[2]
Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, [1] MAKosovskaya@sevsu.ru, [2]nnlenivenko@mail.sevsu.ru

Received 22.02.2023 y.; received in final form 22.02.2023 y.

Abstract

The totality of response physiological and biochemical reactions of plants in response to the action of biogenic stressors depends on the intensity and duration of their impact. The action of stress factors activates the activity of protective mechanisms of various nature. With the timely removal of the stress factor, the morphophysiological state of the plant can return to normal. In Sevastopol, there is a very high population of trees P.orientalis P.orientalis laceweed, which is a quarantine pest and monophage. The data obtained showed that in conditionally clean points taken for control, trees with biotic pollution are 15 times less than in the most affected points. Biological pollution data confirmed the ranking for anthropogenic pollution.

Keywords: biotic factors, public green spaces, biogenic stresses, morphophysiological state of the plant, anthropogenic factors, quarantine pests

Введение

Урбаносреда - это тесно взаимодействующие компоненты промышленных объектов, жилых домов, необходимой инфраструктуры и элементы природных зон.

Одним из основных средообразующих компонентов городской среды является зеленые насаждения общего пользования. [1,2] Они выполняют огромную функцию в защите населения от неблагоприятных факторов, возникающих в городе, и позволяют жителям проводить время в

окружение природы, тем самым, выполняя рекреационную функцию. Кроме того, они выполняют средообразующую, структурно-планировочную, декоративно-художественную и санитарно-гигиеническую функции. [1,2] Зеленые насаждения задерживают, поглощают и аккумулируют весь комплекс вредных веществ, содержащихся в атмосферном воздухе. В свою очередь фитотоксиканты оказывают влияние на жизненное состояние растений, что приводит к их ослаблению. На качество выполнения этих функций влияет морфо-физиологическое состояние растений Ослабленность древесных растений способствует развитию вредителей и болезней, что усугубляет их состояние, а иногда является и причиной гибели.

Цель статьи (постановка задач)

Цель исследования: анализ ответных стрессовых реакций дендроформ на действие биотических факторов для рационального природообустройства ЗНОП города Севастополя.

Для достижения данной цели, были поставлены следующее задачи:

- проанализировать факторы биотической среды, влияющие на функциональное состояние древесных насаждений;
- проанализировать степень повреждения древесных насаждений инвазивными видами вредителей.

Объектом исследований являются ЗНОПы г. Севастополя, выбранные в четырех районах.

Предметом исследования является жизненное состояние древесных насаждений в условиях воздействия на них биотических факторов в городской среде.

Постановка проблемы

Проблема состояния зелёных насаждений в городской среде является довольно острой. На состояние древесных форм оказывает воздействие весь спектр биотических и абиотических факторов. Это загрязнение несёт комплексный характер, который подразумевает первоначальное негативное воздействие абиотических факторов, которые ослабляют деревья и создают пригодную среду для развития уже биотических факторов

На сегодняшний день весьма актуально рассмотреть то влияние, которое оказывают биотические факторы на функциональное состояние древесных растений ЗНОП и, особенно, следует учитывать карантинных вредителей, которые на сегодняшний день являются одними из главных стрессоров.

Растения особенно уязвимы к воздействию фитотоксикантов, так как очень велика поглотительная способность листьев. Действие аэротехногенных загрязняющих веществ заключается в нарушении физиологических и биохимических процессов, протекающих в растительных клетках. Вначале ослабление растений проявляется на физиолого-биохимическом уровне, затем распространяется на ультраструктурный и клеточный уровни и лишь после этого развиваются видимые признаки ослабления – хлорозы и некрозы тканей листа, уменьшение их размеров и преждевременное опадание, торможение роста растений. Жизненное состояние растительного организма зависит от качества и количества загрязняющих веществ, то есть от абиотических факторов.

По мнению ряда исследователей, комплекс абиотических факторов городской среды приводит к снижению в 2–3 раза продолжительности жизни городских растений [3]. Ослабленность городских древесных насаждений способствует развитию вредителей и болезней, что усугубляет их состояние, а иногда является причиной не выполнения им своих функций.

«В последние годы прослеживается четкая тенденция сокращения площадей и количества зеленых насаждений города Севастополя, что в первую очередь связано со сносом засохших и аварийных деревьев. Основной причиной сноса аварийных деревьев является их возраст, который для многих быстрорастущих деревьев достиг или достигает предельного, в связи с основными посадками более 50 лет назад.

В соответствии с постановлением Правительства 22 Севастополя от 24.08.2017 № 620-ПП «Об утверждении перечня мест общего пользования и перечня мероприятий по благоустройству, проводимых на территории за счет средств бюджета города Севастополя» территория общего пользования – зеленая зона парков, скверов, улиц и лестниц составила 436,01 га» [4]. «В 2020 году по информации, представленной Управлением благоустройства Департамента городского хозяйства города Севастополя, в рамках восстановления зеленых насаждений и озеленения города Севастополя были произведены работы по высадке деревьев и кустарников ГБУ «Парки и скверы», внутригородскими муниципальными образованиями, а также управляющими компаниями на придомовых территориях. Площадь городских зеленых насаждений на 2020 год в городе Севастополь составила 465,33 га»

[4,5,6]. К биотическим (фитогенным, зоогенным) факторам относятся все животные, растения и микроорганизмы, которые могут оказывать влияние на жизнь данного растения. Однако самыми опасными являются карантинные вредители, которые отсутствуют в данном регионе. Они не имеют на данной территории естественных врагов, следовательно, могут значительно расширить свой ареал и наносить значительный ущерб. В Севастополе данная проблема стоит особенно остро, очаговое распространение имеют такие инвазивные вредители, как американская белая бабочка, клоп платановая кружевница и каштановая моль. На данный момент в городе обнаружено около 94 очагов их распространения

Результаты исследований

Биотические факторы часто оказывают очень значительное влияние на растения, вызывая биотический стресс. Интенсивность влияния данных факторов в первую очередь зависит от видового состава древесных насаждений ЗНОПов. В состав зелёных насаждений входят разнообразные лиственные и хвойные древесные породы. На них обитает большое число видов вредителей, среди которых имеются многоядные и специализированные насекомые, относящиеся к различным семействам, а также фитопатогенные грибоподобные протисты, псевдогрибы и настоящие грибы [1,5].

Формирование комплекса фитопатогенов происходит под воздействием различных факторов:

- разнообразие видового состава растений;
- возраст насаждений, иммунитет растений;
- роль естественных врагов;
- воздействие абиотических и антропогенных факторов.

В течение десяти лет с 2006 по 2016 годы сотрудниками ФГАОУ ВО Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского проводился анализ фитосанитарного состояния парков в Крыму [4]. В таблице 1. представлены основные виды древесных насаждений, встречаемых в ЗНОП и их вредители.

В настоящее время самыми опасными следует считать карантинных вредителей. К ним относятся десятки тысяч видов животных и растительных организмов. «При этом многие из них приводят к весьма серьезным экологическим, социальным и экономическим последствиям. Инвазивные чужеродные виды по праву считаются второй по значению угрозой биоразнообразию (после разрушения мест обитания)» [5].

В конце девяностых годов прошлого века впервые в Севастополе было отмечено появление каштановой минирующей моли. Каштановая минирующая моль (АББ), или охридский минёр (лат. *Cameraria ohridella*) – инвазивный вид бабочек из семейства молей-пестрянок, являющийся главным вредителем конского каштана обыкновенного, уничтожающим листву деревьев. Реже встречается на других видах конского каштана, а также клёнах и девичьем винограде. Следует отметить, что зараженные гусеницей каштановой моли листья, поражаются грибной инфекцией. Последние годы выявлен комплекс энтомофагов и энтомопатогенных грибков насекомого.

Кроме того, в 2020 году впервые был упомянут такой вредитель, как Клоп платановая кружевница. На территории Севастополя установлены карантинные зоны (выявлено 94 очага данных заболеваний). В качестве борьбы с вредителями проводятся мероприятия по обработке и опрыскиванию деревьев инсектицидами и фунгицидами. Зачастую данные меры применяют государственные учреждения, муниципальные и управляющие компании.

Одним из основных таких учреждений является «Парки и скверы». В 2020 году ГБУ осуществило фитосанитарную обработку от на территории 364 843 кв.м, также был проведен мониторинг 71 улицы города. Было опрыскано 970 деревьев со следами паутинных гнезд в разных районах города Севастополя, а также в парке «Учкуевка». Обработке против него подверглось около 60 тыс. кв.м. зеленых зон. В 2021 году количество деревьев, подверженных обработке увеличилось до 5000, однако количество очагов распространения американской белой бабочки и клопа платановой кружевницы увеличилось до 94. В 2022-2023 годах ситуация не изменилось, планируется обработать около 10000 тысяч зеленых насаждений. Также в мае этого года в рамках государственного контракта уже была произведена обработка 330 гектаров от клещей.

В выбранных точках обработка деревьев не проводилась. Точки отбора проб представлены на рисунке 1.

Районами исследования были выбраны зеленые насаждения общего пользования (ЗНОП) в четырех районах города – Нахимовском (точки 1,2), Ленинском (точки 3,4) , Гагаринском (точки 4,5) и Балаклавском (точки 7,8). В каждом районе для исследования были взяты по две точки. Деревья в точках находятся в непосредственной близости к источникам антропогенного воздействия, но степень их биологического загрязнения

различается. В качестве исследуемых объектов были выбраны следующие виды древесных насаждений: Клён ясенелистный, или клён американский (лат. *Acer negundo L., 1753*), – вид рода Клён (*Acer*) семейства Сапиндовые (*Sapindaceae*) и Платан восточный (лат. *Platanus orientalis L. 1753*), также Чинар – древесное растение, вид рода Платан (*Platanus*) семейства Платановые (*Platanaceae*).

В ходе основных исследований, осенью 2021 – весной 2022 года, была дана оценка их жизненного состояния по степени повреждения, основанная на визуальной оценке биоморфологическимх признаков [11,12]. Было исследовано около 70 объектов обоих видов.

Результаты анализа соотношения больных и здоровых объектов приведены на рисунке 2.

Таблица 1 *Анализ фитосанитарного состояния древесных насаждений Севастополя*

Повреждаемые культуры	Систематическое положение фитофага	Повреждаемые органы и тип повреждения растения
Грецкий орех	Ореховый войлочный клещ *Aceria erinea* Nal. (Arachnida: Acfriformes: Eriophyidae)	Листья Галлы
	Ореховый бородавчатый клещ *Aceria tristria-tus* Nal. (Arachnida: Acfriformes: Eriophyidae)	Листья, плоды Галлы
	Ореховая никтеолина *Erschoviella musculana* Ersch. (Lepidoptera: Noctuidea)	Побеги, плоды Минирование
Каштан конский	Каштановая минирующая моль, или охрид-ский минер *Cameraria ohridella* Deschka and Dimic (Lepidoptera: Gracilariidae)	Листья Минирование
	Стрельчатка кленовая *Acronicta aceis* Linnae-us, 1758 (Lepidoptera: Noctuidae)	Листья Грубое объедание
Платан восточный	Платановая моль пестрянка *Phyllonorycter platani* Srgr. (Lepidoptera: Gracilarudae)	Листья Минирование
	Платановая коритуха, или кружевница *Corythucha ciliate* Say (Heteroptera: Tingidae)	Листья Изменение окраски
Ясень обыкновенный	Черный ясеневый пилильщик *Tomostethus nigritus* (Fabricius, 1804) (Hymenoptera: Temthredndae)	Листья Грубое объедание
	Ясеневая листоблошка род *Psyllopsis* Low. (Homoptera: Psyllidae)	Листья Галлы
	Шпанская мушка *Lytta vesicatoria* L.(Coleoptera: Meloidae)	Листья Грубое объедание



Рис.1 Точки отбора проб

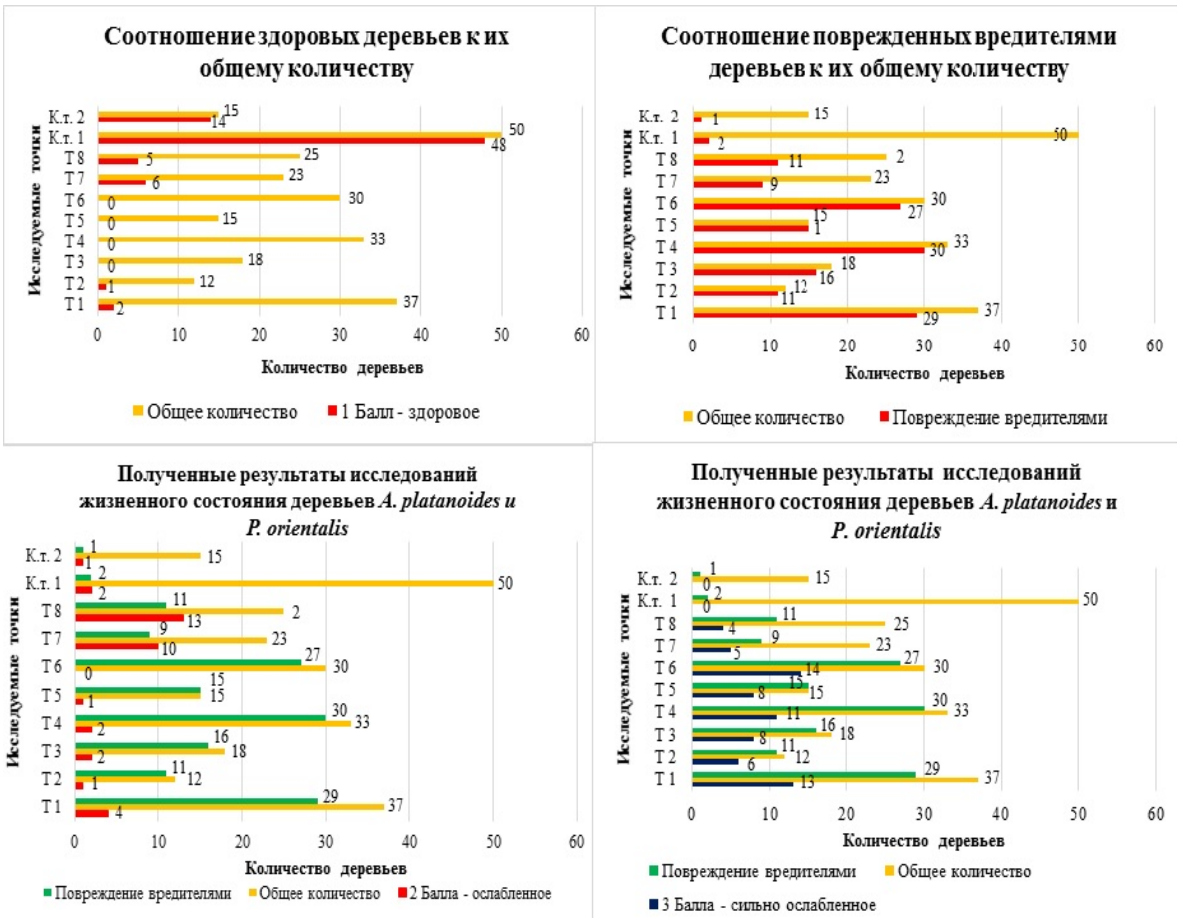


Рис 2. Соотношение больных и здоровых объектов

В точках 3, 4, 5 и 6 здоровые деревья отсутствуют, преобладают виды, имеющие морфологические повреждения. Эти точки относятся к наиболее загрязненным районам. Также, следует отметить, что платановый клоп-кружевница выявлен практически на всех деревьях P. orientalis. Больше всего вредителя в Т1, Т3 и Т7. Наибольшее количество сильно ослабленных деревьев находится в Ленинском и Гагаринском районах. Деревья вида A. negundo в этих районах имеют поражение вредителем АББ. Что касается P. orientalis, усыхающих деревьев этого вида практически нет. Причиной этого является достаточно медленное воздействие клопа платановой кружевницы на жизненное состояние деревьев, в сравнении с АББ. Ослабленные и сильно ослабленные деревья этого вида имеют повреждение клопом и находятся они в наиболее загрязненных районах города – Ленинском и Гагаринском. Т1 и Т 2, расположенные в Нахимовском районе, можно отнести к средней степени загрязнения и также к средней степени поражения вредителями. Наиболее же условно чистым и практически не имеющим биологического загрязнения районом, можно считать Балаклавский.

По результатам исследования антропогенных факторов была построено ранжирование исследуемых точек по степени нагруженности [1,2,13].

Исследования биологического загрязнения подтвердили предлагаемое ранжирование. В исследованиях интенсивности биотического загрязнения использовались следующие методы: определение хлорофилла фотометрическим методом; определение содержания аскорбиновой кислоты в листьях; газометрический метод определения активности каталазы; спектрофотометрический метод определения активности пероксидазы; оценка жизненного состояния древесных насаждений в исследуемых точках по морфологическим признакам.

Полученные результаты показали, что деревья A. Negundo имеют высокую степень поражения АББ, поэтому активность фермента каталазы в пораженных точках (Т1, Т3) в 2 раза ниже, чем в точке, взятой за контроль. Исходя из анализа динамики активности каталазы у древесных насаждений видов A. negundo и P. orientalis, можно сделать вывод, что наиболее высокая активность фермента каталазы за весенний период

наблюдается в «условно чистой» точке Т8 (Балаклавский район) и К.Т.2, она вдвое больше, чем в Т4 и Т6, которые относятся к сильно ослабленным.

В точках со средней загрязненностью Т2, частично в Т4, Т5, Т6 активность каталазы составляет в 2,2 раза меньше, чем в условно чистых точках. что активность пероксидазы показывает состояние физиологических процессов. В К.т. 1, К.т. 2, Т 8 и Т 7, принятых за условно чистые, активность фермента пероксидазы примерно в два раза ниже, чем в пораженных точках (Т1, Т3, Т4, Т5, Т6). Точки со средней степенью поражения (Т1, Т2, частично Т3, Т4, Т5, Т6) численно приближены к результатам в пораженных точках.

Высокое содержание аскорбиновой кислоты характерно для условно чистых точек, не имеющих повреждений вредителей (Т7, Т8, К.т.1, К.т.2).

Наименьшее же ее содержание выявлено в Т1, Т3, Т4, Т5, Т6 у сильно ослабленных деревьев, оно в два раза ниже, чем в условно чистых. Все исследуемые зеленые насаждения имеют не высокое содержание влаги, к таким не относятся только деревья, расположенные в К.т.1, К.т.2 и в Т8. Самое низкое содержание влаги у листьев деревьев в Т6, Т5 и Т4 – это деревья, подверженные биологическому загрязнению и находящиеся на стадии сильно ослабленных и отмирающих. Средняя степень содержания влаги в листовых пластинах характерна для точек, содержащих ослабленные деревья, не сильно подверженные биологическому и антропогенному загрязнению.

Выводы и рекомендации

1. Совокупность ответных физиолого-биохимических реакций растений в ответ на действие стрессоров биогенной природы зависит от интенсивности и длительности их воздействия. Действие стресс факторов активизирует активность защитных механизмов различной природы. При своевременном удалении стресс-фактора морфофизиологическое состояние растения может вернуться к норме.

2. Для анализа ответных реакций дендроформ зон общего пользования Севастополя на действие биогенных факторов были выбраны точки отбора с учетом абиотических факторов (интенсивность движения автотранспорта, наличие рядом домов и т.д.) и биотических факторов (вид вредителя и степень поражения растения). Отбор проб проводился в административных районах города – Нахимовском, Ленинском, Гагаринском и Балаклавском. В качестве объекта исследования были взяты древесные насаждения вида A. platanoides и P. orientalis.

Отбор листьев проводился осенью 2021 г. и весной 2022 г. Для определения влияния биотических факторов на жизненное состояние деревьев использовались следующие методы: определение хлорофилла фотометрическим методом; определение содержания аскорбиновой кислоты в листьях; газометрический метод определения активности каталазы; спектрофотометрический метод определения активности пероксидазы; оценка жизненного состояния древесных насаждений в исследуемых точках по морфологическим признакам.

В Севастополе наблюдается очень высокая заселенность деревьев P.orientalis P.orientalisовой кружевницей, которая является карантинным вредителем и монофагом P.orientalisa, она выявлена практически на всех деревьях P.orientalis. Деревья A.platanoides повреждены АББ. На территории Севастополя установлены карантинные зоны (выявлено 94 очага). Карантинная зона включает в себя очаг (пораженное дерево и квартал населенного пункта, в котором оно растет).

Полученные данные показали, что в условно чистых точках, взятых за контроль, деревьев, имеющих биотическое загрязнение, в 15 раз меньше, чем в наиболее пораженных точках – Т4, Т6, которые находятся в Ленинском и Гагаринском районах, а также в 5 раз меньше по сравнению с Т7 и Т8, которые находятся в Балаклавском районе.

При проведении анализа ответных реакций растений на стресс-факторы с учетом биоморфологических и физиологических, а также показателей системы антиоксидантной защиты, деревья вида A. platanoides с низким уровнем жизненного состояния были выявлены в Т1 (Нахимовский р-н) и Т3 (Ленинский р-н). Деревья вида P.orientalis имели низкие показатели жизненного уровня были выявлены в Т4 (Ленинский р-н), Т5 и Т6 (Гагаринский район). Показатели, наиболее приближенные к норме, были выявлены в Т7 и Т8, которые находятся в Балаклавском районе.

Таким образом, данные по биологическому загрязнению подтвердили ранжирование по антропогенному загрязнению.

5. Полученные данные могут быть использованы при фитомелиорации, озеленении и рациональном природопользовании зеленых зон г. Севастополя.

Список литературы

1. Косовская М.А., Хренова Т.К., Лямина Н.В. Оценка функционального состояния дендроформ г.Севастополя в условиях интенсивной антропогенной нагрузки. Энергетические установки и технологии. 2021. Т. 7. № 1. С. 97-104.
2. Косовская М.А., Лямина Н.В., Хренова Т.К. Оценка влияния антропогенной нагрузки на жизненное состояние Styphnolobium Japonicum (L.) Schott Энергетические установки и технологии. 2022. Т. 8. № 2. С. 87-92/
3. И.Л. Бухарина, Т.М. Поварницина, К.Е. Ведерников – Монография: Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде – Ижевск: Ижевская ГСХА, 2007 – 10, 216 стр
4. Ежегодный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города Севастополя за 2020 год – Правительство Севастополя, Главное управление природных ресурсов и экологии города Севастополя (Севприроднад-зор) – 238с. 65
5. Косовская М.А., Лямина Н.В., Хренова Т.К., Каширина Е.С. Оценка состояния атмосферного воздуха примагистральных территорий г.Севастополя Энергетические установки и технологии. 2020. Т. 6. № 1. С. 159-164
6. Косовская М.А., Лямина Н.В, Ленивенко Н.Н. Оценка динамики изменения степени аэрозагрязнения воздуха г.Севастополя Энергетические установки и технологии. 20212021. Т. 7. № 1. С. 105-113.
7. Косовская М.А., Лямина Н.В., Хренова Т.К. Оценка функционального состояния дендроформ г.Севастополя в условиях интенсивной антропогенной нагрузки Энергетические установки и технологии. 2021. Т. 7. № 1. С. 97-104
8. Косовская М.А., Лямина Н.В., Катвалюк А.Л., Ильязов Р.Г Методика экспресс-оценки состояния атмосферного воздуха биоиндикацией и биотестированием дендроформ. В книге: Техногенные системы и экологический риск. Тезисы докладов III Международной (XVI Региональной) научной конференции. Обнинск, 2020. С. 193-194.
9. Орлова-Беньковская М.Я. Опасный инвазионный вид божьих коровок Harmonia axyridis (Pallas, 1773) (Coleoptera, Coccinellidae) в европейской России // Российский журнал биологических инвазий. – 2013. – № 1. – С.75-81.
10. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.
11. Алексеев В.А. Диагностика повреждений деревьев и древостоев при атмосферном загрязнении и оценка их жизненного состояния // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука, 1990. С. 38–53
12. Kosovskaya M., Lyamina N., Semenova E., Gnilomedova N., Kuzmin A., Tsokalo I. APPLICATION OF CONIFEROUS DENDROFORMS FOR BIOTESTING OF COASTAL URBAN ENVIRONMENTS В сборнике: E3S Web of Conferences. Сер. "Topical Problems of Agriculture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2020" 2020. С. 04037
13. Зеленые насаждения как средство улучшения экологии города. Соловьева О.С. и др. 2010. – Научная электронная библиотека КиберЛенинка. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/

References

1. Kosovskaya M.A., Khrenova T.K., Lyamina N.V. Assessment of the functional state of dendroforms in the city of Sevastopol under conditions of intense anthropogenic load. Power installations and technologies. 2021. V. 7. No. 1. S. 97-104.
2. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Khrenova T.K. Evaluation of the impact of anthropogenic load on the life status of Styphnolobium Japonicum (L.) Schott Power Plants and Technologies. 2022. V. 8. No. 2. S. 87-92/
3. I.L. Bukharin, T.M. Povarnitsina, K.E. Vedernikov - Monograph: Ecological and biological features of woody plants in an urbanized environment - Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2007 - 10, 216 pages
4. Annual report on the state and protection of the environment of the city of Sevastopol for 2020 - the Government of Sevastopol, the Main Department of Natural Resources and Ecology of the city of Sevastopol (Sevprirodnadzor) - 238p. 65
5. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Khrenova T.K., Kashirina E.S. Assessment of the state of atmospheric air in the main areas of the city of Sevastopol Power plants and technologies. 2020. V. 6. No. 1. S. 159-164
6. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Lenivenko N.N. Evaluation of the dynamics of changes in the degree of air pollution in the city of Sevastopol Power plants and technologies. 20212021. V. 7. No. 1. S. 105-113.
7. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Khrenova T.K. Assessment of the functional state of dendroforms in the city of Sevastopol under conditions of intense anthropogenic load Power plants and technologies. 2021. V. 7. No. 1. S. 97-104
8. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Katvalyuk A.L., Ilyazov R.G. Methodology for rapid assessment of the state of atmospheric air by bioindication and biotesting of dendroforms. In the book: Technogenic systems and ecological risk. Abstracts of the III International (XVI Regional) scientific conference. Obninsk, 2020. S. 193-194.
9. Orlova-Benkovskaya M.Ya. Dangerous invasive species of ladybirds Harmonia axyridis (Pallas, 1773) (Coleoptera, Coccinellidae) in European Russia // Russian Journal of Biological Invasions. - 2013. - No. 1. - P.75-81.
10. Alekseev V.A. Diagnostics of the vital state of trees and forest stands // Lesovedenie. 1989. No. 4. S. 51–57.

11. Alekseev V.A. Diagnosis of damage to trees and forest stands under atmospheric pollution and assessment of their vital state // Forest Ecosystems and Atmospheric Pollution. L.: Nauka, 1990. S. 38–53
12. Kosovskaya M., Lyamina N., Semenova E., Gnilomedova N., Kuzmin A., Tsokalo I. APPLICATION OF CONIFEROUS DENDROFORMS FOR BIOTESTING OF COASTAL URBAN ENVIRONMENTS In the collection: E3S Web of Conferences. Ser. "Topical Problems of Agriculture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2020" 2020. P. 04037
13. Green spaces as a means of improving the ecology of the city. Solovieva O.S. et al. 2010. – Cyber-Leninka Scientific Electronic Library. – Access mode: https://cyberleninka.ru/.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ В ЖУРНАЛЕ «ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ТЕХНОЛОГИИ»

Журнал входит в национальную библиографическую базу данных РИНЦ.

Принимаются статьи на русском и английском языках.

Статья должна быть структурирована и содержать:

- постановку проблемы, ее связь с актуальными научными или практическими заданиями;
- анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы;
- выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которой посвящается данная статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала с полным обоснованием полученных научных результатов;
- выводы по данному исследованию и перспективы дальнейших поисков в данном направлении.

К статье должно прилагаться:

- два экземпляра рукописи статьи, выполненной в соответствии с требованиями, первый экземпляр, подписанный всеми авторами;
- оригинал экспертного заключения о возможности опубликования данной работы в открытой печати;
- рецензия, подписанная доктором наук или кандидатом наук;
- информация об авторах статьи (заголовок статьи, фамилия, имя и отчество (полностью), должность, ученая степень, полный почтовый адрес, контактные телефоны и адреса электронной почты).

ОПИСАНИЕ МАКЕТА СТАТЬИ

Статья должна представляться также в электронном виде файлом, подготовленном в текстовом процессоре MS Word в режиме разметки страницы. Файл следует сохранять с расширением *. doc(или *.rtf) без макросов.

Имя файла должно начинаться фамилией контактирующего автора на латинице. Основной текст набирается шрифтом «Times New Roman» (11 пт) через интервал с автоматической расстановкой переносов в две колонки с расстоянием между ними 10 мм.

Ширины верхнего поля – 27 мм, нижнего – 23 мм, левого и правого – 18 мм, первый ряд — отступ 0,75 см.

Название статьи – шрифт 16 пт, ФИО – шрифт 14 пт. Сведения об авторах, аннотация, ключевые слова, список литературы – шрифт 10 пт.

Рисунки выполняются в графических редакторах и (или) процессорах (Paint, PhotoShop, CorelDraw и т.п.) в с разрешением 300dip.

Шаблон статьи и требования по ее оформлению приведены на сайте СевГУ: https://www.sevsu.ru/.

Статьи, не удовлетворяющие шаблону и требованиям к оформлению, рассматриваться не будут.

Более детальную информацию можно получить в редакции журнала:

ИЯЭиП, ул. Курчатова, 7. Севастополь, 299015, Российская Федерация. E-mail nauchnyyzhurnal@mail.ru, телефон. +7(8692) 71-01-64.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал

16+

Выпуск № 1,Том 9 2023 г.

Рубрики в соответствии с номенклатурой научных специальностей:

05.13.06 Автоматизация и управление технологическими процессами
05.14.01 Энергетические системы и комплексы
05.14.03 Ядерные энергетические установки, включая проектирование
05.14.08 Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии
05.26.05. Ядерная и радиационная безопасность

Адрес редакции:
299015, г. Севастополь, ул. Курчатова, 7.
Телефон редакции: 8(692) 710164
https://old.sevsu.ru/nauka/pechat-izdaniya/item/1272-njeut
e-mail: nauchnyyzhurnal@mail.ru
Отпечатано в издательстве СевГУ.

Публикуемые материалы прошли обязательную процедуру рецензирования и экспертного отбора. Авторы опубликованных материалов несут полную ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, данных, имен собственных и прочих сведений.

Редакция не несет ответственности за нарушение авторами исключительных прав на результаты интеллектуальной деятельности третьих лиц. Мнение редакционной коллегии может не совпадать с позицией авторов статей. При перепечатке материалов ссылка на научный журнал «Энергетические установки и технологии» обязательна.

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

№ рег. СМИ: ПИ No ФС 77 – 64120 от 25.12.2015 г.

Главный редактор: Якимович Борис Анатольевич

Подписано к печати 09.03.2023. Заказ 7/23. Дата выхода в свет: 31.03.2023. Тираж 65 экз. Цена: Бесплатно. Формат 60×84/8. Бумага офсетная. Объем усл. печ. л. 30,0.

Севастополь, 2023