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. 7 № 1

Севастополь
2021

Э 651 ISSN 2413-5526
УДК 621.311

Э 651 **Энергетические установки и технологии: науч. журнал. – Севастополь: ФГАОУ ВО СевГУ, 2021. – Т. 7. - № 1. – 164 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:

Качур С.А. (главный редактор), д.т.н., доцент;
Омельчук Ю.А.(заместитель главного редактора), к.х.н., доцент;
Черкашина Н.И.(ответственный секретарь), к.т.н., доцент;
Сафонов В.А., д.т.н., профессор; *Пухлий В.А.,* д.т.н., профессор;
Пучков В.Н., д.т.н., профессор; *Акимов А.М*., д.т.н., профессор;
Федоровский К.Ю., д.т.н., профессор; *Олейников А.М*., д.т.н., профессор;
Тимощенко А.И., д.т.н., профессор; *Карницкий А.Б*., д.т.н., профессор;
Высоцкий В.Е., д.т.н., профессор; *Краснодубец Л.А.,* д.т.н., профессор;
Прибатурин Н.А., д.т.н., профессор; *Кирияченко И.А.,* к.т.н., профессор;
Магдыч Е.А., к.т.н., доцент; *Федорова С.А.,* к.пед.н., доцент;
Мирошниченко С.Т., к.т.н., доцент; *Свириденко И.И.,* к.т.н., доцент;
Матузаев К.Б., к.т.н., доцент; *Скидан А.А.,* к.т.н., доцент;
Углов А.В., к.т.н., доцент; *Шайтор Н.М*., к.т.н., доцент;
Ерофеев В.А., к.т.н., доцент; *Ожиганова М.И*., к.т.н., доцент;
Гусева Е.В., к.т.н., доцент; *Щекатурина Т.Л.,* д.х.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», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Тепловые и ядерные энергетические установки **7**

Зацаринная Т.Г., Аникевич К.П., Шахова Н.В., Ильчук Д.С. Регулирование редукционно-охладительных установок АЭС 7

Качур С.А. Сетевая модель энергораспределения активной зоны в радиальном направлении для реактора типа ВВЭР на базе электронных нейронов 14

Шаповаленко В.В., Матузаев К.Б., Мерзликин Г.Я. Исследование конструкции органа регулирования системы управления и защиты реакторной установки РБМК-1000 19

Шаповаленко В.В. Способность Плавучей атомной теплоэлектростанции «Академик Ломоносов» противостоять внутренним и внешним угрозам в системе физической защиты 23

Электротехнические комплексы и системы **28**

Канов Л.Н. Математическое моделирование волновой электрической установки 28

Смирнов В.В., Яковенко Н.А., Богдан А.Р. Анализ перспектив развития солнечной электроэнергетики в Российской Федерации 35

Широков И.Б., Азаров А.А., Сердюк И.В., Широкова Е.И. Исследование комплексных сдвигов электромагнитных структур системы беспроводной передачи энергии 40

Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии **46**

Бордан Д.Ф., Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Олейников А.М., Гхашим М. Потенциал развития тепловой солнечной энергетики для нужд коммунального хозяйства 46

Малюк Е.Г., Титаренко О.Н., Шестернёва А.М. Использование симметричной системы электроснабжения для снижения паразитных электромагнитных полей 53

Рясков Ю.И., Шайтор Н.М., Горпинченко А.В. Конструктивное решение защиты асинхронного двигателя от межвитковых замыканий обмотки статора 60

Тиман Д.И., Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Олейников А.М., Гхашим М Возможности использования фотоэлектрических панелей малой мощности для нужд индивидуальных потребителей в Республике Крым и городе Севастополь 67

Химические технологии **73**

Акимов А.М., Федорова С.А. Анализ химической дезактивации контуров энергоблоков ВВЭР-440 первого поколения 73

Акимов А.М., Федорова С.А., Федотова А.И., Дудкина Е.С. К вопросу сбора, очистки и использования поверхностных стоков в городской среде 77

Акимов А.М., Федорова С.А. Определение критериев проведения дезактивации оборудования 83

Экологическая безопасность **87**

Бабинецкая А.С., Дербасова Н.М. Определение статистических параметров вариационного стокового ряда для прогнозирования величины годового стока заданной вероятности превышения Симферопольского водохранилища 87

Истомин В.И., Тверская С.Е., Хлебникова В.В. Методические рекомендации по составлению судового плана управления балластными водами 92

Косовская М.А., Хренова Т.К, Лямина Н.В. Оценка функционального состояния дендроформ г.Севастополя в условиях интенсивной антропогенной нагрузки 97

Косовская М.А., Ленивенко Н.Н., Лямина Н.В. Оценка динамики изменения степени аэрозагрязнения воздуха г. Севастополя 105

Косовская М.А., Лямина Н.В., Хренова Т.К, Ленивенко Н.Н. Рекомендации по организации фитомониторинга г. Севастополя 114

Кулик К.А., Баранов Г.А, Дербасова Н.М., Гавриш О.П. Переработка железосодержащих отходов методом микробиологиче-ской деструкции с целью получения железоокисного пигмента 121

Кусов И.С., Каширина Е.С., Лямина Н.В., Зуев-Носов М.А., Шабалина Н.В. Природные предпосылки и ограничения формирования агропромышленного кластера в г. Севастополе 126

Кучерик Г.В., Омельчук Ю.А., Флёрко О.В. Математическое описание процессов извлечения хлоридов из раствора хлорида натрия в четырехкамерном электролизере 135

Нарбекова Д.Д., Дербасова Н.М., Гавриш В.М. Исследование применения нанопорошка оксида вольфрама для очистки сточных вод 142

Омельчук Ю.А., Кучерик Г.В. Очистка воды от урана и сульфатов при ее известковании в присутствии алюминиевых коагулянтов 146

Цымбал И.М., Кучерик Г.В. Исследование начального процесса гумусообразования из листового опада в условиях избыточного увлажнения 154

Для авторов **161**

CONTENTS

Thermal and nuclear power plant **7**

Zatsarinnaya T.G., Anikevich K.P., Shakhova N.V., Ilchuk D.S. Reduction and Cooling Units Control 7

Kachur S.A. Network model of energy distribution of the core in the radial direction for a VVER-type reactor based on electronic neurons 14

Shapovalenko V.V., Matuzaev K.B., Merzlikin G.Ya. Analysis of the design control rods for the control and protection system of the nuclear reactor RBMK-1000 19

Shapovalenko V.V. The ability of the floating nuclear power plant "Akademik Lomonosov" to resist internal and external threats in the physical protection system 23

Electrotechnical complexes and systems **28**

Kanov L.N. Mathematical modeling of Wavy electrical plant 28

Smirnov V.V., Iakovenko N.A., Bogdan A.R. Analysis of the prospects for the development of solar power in the Russian Federation 35

Shirokov I.B., Azarov A.A., Serdyuk I.V., Shirokova E.I. Investigation of complex shifts of electromagnetic structures of a wireless power transmission system 40

Alternative and renewable energy sources **46**

Bordan D.F., Kuvshinov V.V., Kakushina E.G., Oleynikov A.M., Ghashim M Potential for the development of thermal solar energy for the needs of public utilities 46

Malyuk E.G., Titarenko O.N., Shesterneva A.M. Using a symmetrical electricity system to reduce parasitic electromagnetic fields 53

Rjaskov Y.I., Shaytor N.M., Gorpinchenko A.V. The design of the protection asynchronous motor protection from inter-turn short circuits of the stator winding 60

Timan D.I., Kuvshinov V.V., Kakushina E.G., Oleynikov A.M., Ghashim M. Possibilities of using low-power photovoltaic panels for the needs of individual consumers in the Republic of Crimea and the city of Sevastopol 67

Chemical technology of nuclear power plants **73**

Akimov A.M., Fedorova S.A. Analysis of chemical decontamination of the circuits of the first generation VVER-440 power units 73

Akimov A.M., Fedorova S.A., Fedotova A.I., Dudkina E.S. On the issue of collection, treatment and use of surface runoff in the urban environment 77

Akimov A.M., Fedorova S.A Theoretical foundations of membrane separation of gas mixtures 83

Environmental Safety **87**

Babinetskaya A.S., Derbasova N.M. Determination of the statistical parameters of the variational runoff series for predicting the value of the annual runoff of a given probability of exceeding the Simferopol reservoir 87

Istomin V.I., Tverskaya S.E., Hlebnikova V.V. Guidelines for the preparation of a ship's ballast water management plan 92

Kosovskaya M.A.,.Khrenova T.K, Lyamina N.V. Assessment of the functional state of dendroforms in Sevastopol under conditions of intense anthropogenic load 97

Kosovskaya M.A., Lenivenko N.N. Lyamina N.V. Assessment of the dynamics of changes in the degree of air pollution in Sevastopol 105

Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Khrenova T.K., Lenivenko N.N. Recommendations for the organization of phytomonitoring in Sevastopol 114

Kulik K.A., Baranov G.A, Derbisova N.M., Gavrish O.P Processing of iron-containing waste by the method of microbiological destruction in order to obtain iron oxide pigment 121

Kusov I.S., Kashirina E.S., Lyamina N.V., Zuev-Nosov M.A., Shabalina N.V. Natural prerequisites and limitations of the formation of an agro-industrial cluster in Sevastopol 126

Kucherik G.V., Omelchuk Yu.A., Flyorko O.V. Mathematical description of chloride extraction processes from sodium chloride solution in a four-chamber electrolyzer 135

Narbekova D.D., Derbasova N.M., Gavrish V.M. Study of the application of tungsten oxide nanopowder for wastewater treatment 142

Omelchuk Yu.A., Kucherik G.V. Purification of water from uranium and sulfates during liming in the presence of aluminum coagulants 146

Tsymbal I.M., Kucherik G.V. Investigation of the initial process of humus formation from leaf litter in conditions of excessive moisture 154

For cars **161**

ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

УДК 621.186

Регулирование редукционно-охладительных установок АЭС

Т.Г. Зацаринная, К.П. Аникевич, Н.В. Шахова, Д.С. Ильчук
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, biochip@mail.ru, anikonst@mail.ru, nata.shakhova.73@mail.ru., dashailchuk@mail.ru

Статья поступила 04.02.2021 г.; после доработки 08.02.2021 г.

Аннотация

В данной статье приводится краткая характеристика применяемых на АЭС редукционно-охладительных установок (РОУ), их принцип работы и регулирование параметров. Проведено математическое моделирование цифровой САР давления пара за РОУ в среде динамического моделирования технических систем SimInTech, а также ее параметрическая оптимизация.

Ключевые слова: передаточная функция, регулятор, электростанция, редукционно-охладительная установка, пар, дросселирование, оптимизация.

Reduction and Cooling Units Control

T.G.Zatsarinnaya, K.P. Anikevich, N.V. Shakhova, D.S. Ilchuk
Sevastopol state university, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, biochip@mail.ru, anikonst@mail.ru, nata.shakhova.73@mail.ru, dashailchuk@mail.ru

Received 04.02.2021 y.; received in final form 08.02.2021 y.

Abstract

Mathematical modeling of the digital level automatic control system (ACS) in the turbine condenser is developed in this article. This Mathematical model is created with using of Program for dynamic simulation of technique systems. Then it was examined the parameters of this ACS. During the modeling the estimated coefficients of the model were refined. Thus modified variant of automatic control system with required quality indicators was created.

Keywords: transfer function, governor, power plant, reduction and cooling unit, steam, throttling, optimization.

Введение

Применение САР в каждом конкретном случае зависит от того, насколько система удовлетворяет предъявляемым к ней техническим требованиям.

Основное требование - сохранение заданной функциональной зависимости между управляющими и регулируемыми переменными на входе и выходе системы. Идеальных систем, которые выполняют это требование абсолютно точно, не существует. Поскольку работа действующей САР не может быть абсолютно точной в силу множества причин: наличие запаздывания в регулирующем канале объекта управления, наличие ограничений на запас устойчивости и робастность замкнутых контуров, ограничения на возможный диапазон изменения регулирующих переменных и др. [1]. Поэтому речь может идти только о степени приближения системы к идеальной.

Для достижения наилучших показателей качества обычно проводят оптимизацию САР, под-

бирая критерии оптимизации так, чтобы посредством их минимизации получить удовлетворительные результаты регулирования.

При синтезе оптимальной структуры регулирующего устройства определяющим фактором является отработка задающего воздействия. Традиционно требования к системе формируют заданием эталонного оператора системы, который определяет качество системы как переходных, так и в установившемся режимах при выполнении следующих условий:

- нулевая ошибка регулирования при подаче на вход сигнала вида $y(t)=1(t)$;
- перерегулирование в системе, не превышающее допустимую, или должно быть нулевое;
- время переходного процесса не должно превышать допустимое;
- максимальное ускорение выходной переменной при заданных условиях не должно превышать допустимого значения [2].

В среде динамического моделирования технических систем SiminTech возможно синтезировать САР технологического объекта любой сложности, рассчитать и исследовать ее, в конечном итоге, добиться реализации оптимального переходного процесса. Пример моделирования САР редукционно-охладительной установки и расчет оптимальных параметров регулирования в среде динамического моделирования SiminTech рассматриваются в данной статье.

Редукционно-охладительные установки АЭС

Переходные режимы являются неотъемлемой частью полной номенклатуры проектных эксплуатационных режимов АЭС, работающих в базовом графике нагрузок. В таких режимах возникает необходимость изменения тракта движения пара, например, минуя турбину. Однако при этом необходим сброс давления пара от начального до давления того агрегата, в который сбрасывается пар (конденсатор основной, конденсатор технологический, деаэратор), или до атмосферного при сбросе в атмосферу [3]. Для более полного и эффективного использования пара применяют редукционно-охлади-тельные установки (рис. 1).

В зависимости от скорости включения в работу установки подразделяются на обыкновенные (РОУ) и быстродействующие (БРОУ). Обе системы применяются в энергоблоках для снижения температуры и давления пара до заданных параметров. Кроме того, выделяют также редукционные установки (РУ), которые лишь понижают давление пара, а также охладительные устройства (ОУ), способные лишь на его охлаждение [4].



Рис.1. Модель редукционно-охладительной установки.

На рисунке 2 показана схема использования РУ и БРУ на АЭС с водным теплоносителем при сбросе пара в конденсатор, минуя турбину [5]. При работающих реакторной и парогенераторной установках и внезапном сбросе нагрузки турбиной, включается быстродействующая редукционная установка с подачей пара в конденсатор через БРУ-К. Парогенератор питается по прежней схеме, однако, с меньшей нагрузкой и с выключенными подогревателями низкого и высокого давления по паровой стороне. В переходном патрубке конденсатора в сдросселированный пар впрыскивается конденсат от конденсатного насоса первой ступени. БРУ-К располагается вне переходного патрубка, но поставляется вместе с конденсатором. В зависимости от причин, вызвавших сброс нагрузки турбины, и возможности их ликвидации решается вопрос о продолжении работы реактора с пониженной нагрузкой (если турбин несколько) или о необходимости его останова.

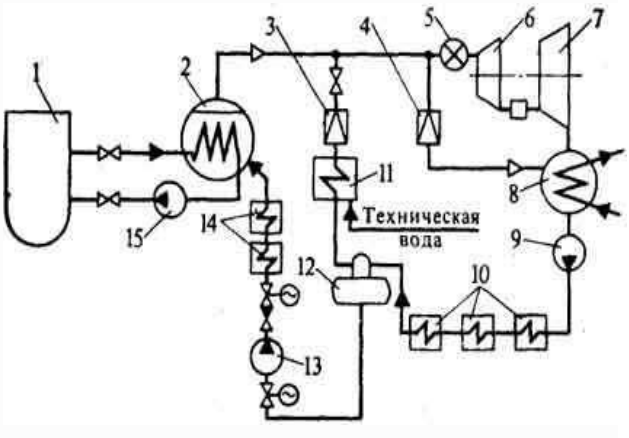


Рис.2. Схема использования РУ и БРУ в системе АЭС.

1- реактор; 2- парогенератор; 3- РУ; 4- БРУ-К; 5- стопорный клапан турбины; 6- ЦСД; 7- ЦНД; 8- конденсатор; 9- конденсатный насос; 10- ПНД; 11- теплообменник расхолаживания; 12- деаэратор; 13- питательный насос; 14- ПВД; 15– ГЦН.

Из рис. 2 видно также возможное использование РУ в режиме расхолаживания АЭС с ВВЭР. Пар после парогенератора через РУ и теплообменник 11 поступает в деаэратор, откуда вода подается в парогенератор через выключенные по паровой стороне ПВД.

Автоматическое регулирование РОУ

Принцип функционирования схемы РОУ (рис. 3) заключается в следующем [6]. Свежий пар поступает к дроссельному клапану 2 через входную задвижку 1, дросселируется сначала в дроссельном клапане, а затем в шумоглушителе 3. Последние применяются при околозвуковом или сверхзвуковом перепаде давления.

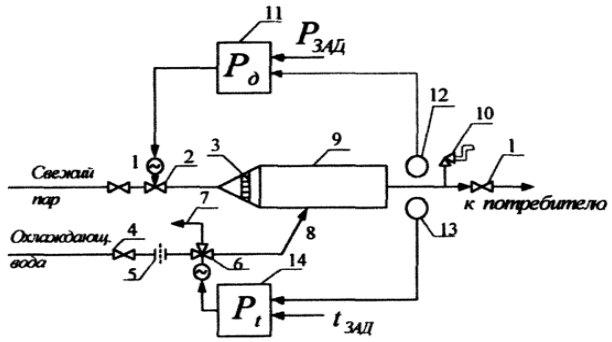


Рис.3. Принципиальная схема включения и регулирования РОУ.

Охлаждающая вода поступает через водяную задвижку 4 и регулирующий клапан 6 на форсунку 8. Часто перед дроссельным клапаном 6 устанавливается дроссельное устройство в виде дроссельной шайбы 5 или группы шайб. Это делается в тех случаях, когда охлаждающая вода подается к РОУ от источника с высоким давлением (например, от питательного насоса), значительно превышающим давление, необходимое для впрыска воды.

Дроссельное устройство рассчитывается на пропуск такого количества воды, которое необходимо для охлаждения максимально возможного расхода пара. Для предотвращения опасного повышения давления дросселированного пара на выходном паропроводе устанавливается предохранительное устройство 10.

На охладителе пара 9 соосно с его корпусом обычно устанавливается защитная труба, предназначенная для уменьшения вредного воздействия воды на стенку охладителя пара.

Как объект регулирования РОУ имеет две регулируемые величины: давление и температура пара за РОУ.

Основным возмущающим воздействием на давление пара является изменение его потребления или давления свежего пара. Возмущающими воздействиями на температуру пара являются изменение потребления пара, расход и давление свежего пара.

Регулирующим воздействием на давление пара является изменение расхода свежего пара, а на температуру – изменение расхода охлаждающей воды. Как объект регулирования РОУ обладает самовыравниванием, и ее динамику можно описать уравнением инерционного звена первого порядка.

Как объект регулирования температуры РОУ можно считать безынерционным объектом, но, так как температура измеряется инерционным датчиком, то инерционность РОУ определяется инерционностью датчика.

Регулирование давления осуществляется регулятором 11, получающим импульс от манометра 12 и воздействующим на клапан 2.

Температура редуцированного пара регулируется регулятором 14, получающим импульс от термопреобразователя 13 и воздействующим на клапан 6.

Для повышения точности измерения температуры термопреобразователь должен устанавливаться на расстоянии 8-10 м после впрыска, чтобы влага успела полностью испариться. Иногда для сохранения постоянного перепада давления на клапане 6 в широком диапазоне изменения расходов впрыска в качестве клапана 6 применяется трехходовой клапан постоянного расхода. Такой клапан обеспечивает изменение подачи воды в пароохладитель путем сброса ее в сливную линию 7 при неизменном расходе воды через дроссель 5.

Управление арматурой РОУ осуществляется автоматически от электрогидравлических приводов. Подачу импульсов на срабатывание приводов арматуры РОУ осуществляют датчики давления и температур.

Точность поддержания давления и температуры редуцированного пара диктуется потребителем. Обычно точность поддержания давления пара составляет ± 2 %, температуры -1,5 %.

Так как на АЭС с водным теплоносителем применяется насыщенный пар, то обычно снижения температуры редукционного пара не требуется, в связи с чем, компьютерное моделирование проводится для САР давления пара за РОУ.

Таким образом, в модели САР в качестве регулируемого параметра принимается давление пара за РОУ, а управляющим воздействием является изменение расхода пара.

Динамические процессы в РОУ можно описать дифференциальным уравнением первого порядка

$$T\frac{dx_{вых}(t)}{dt}+x_{вых}(t)=kx_{вх}(t) \qquad (1)$$

где k – коэффициент передачи, характеризующий свойства в статическом режиме; T – постоянная времени, характеризующая инерционность звена.

Решение уравнения (1) при нулевых начальных условиях ($x_{вых}(0)=0;\ \frac{dx_{вых}(t)}{dt}=0$) имеет вид

$$x_{вых}(t)=kx_{вх}(t)\left[1-e^{-\frac{t}{T}}\right] \qquad (2)$$

Передаточная функция звена получается из записи уравнения в операторной форме

$$(\mathrm{Tp}+1)X_{вых}(p)=kX_{вх}(p);$$

$$W(p)=\frac{X_{вых}(p)}{X_{вх}(p)}=\frac{k}{Tp+1}. \qquad (3)$$

Таким образом, выражение (3) является передаточной функцией объекта регулирования в моделируемой САР.

Математическое моделирование цифровой САР давления пара за РОУ в среде SimInTech

Функциональная схема САР давления пара за РОУ, используемая в качестве математической модели (рис. 4), реализована на основе принципиальной схемы включения и регулирования РОУ.

В состав функциональной схемы входит цифровой регулятор, алгоритмический блок АБ которого формирует *ПИ* – закон регулирования. На выходе регулятора формируется управляющее воздействие U_p в случае, когда отклонение давления пара за РОУ ΔP, представляющее собой алгебраическую сумму текущего $P_{тек}$ и заданного $P_{зад}$ давлений, не равно нулю.

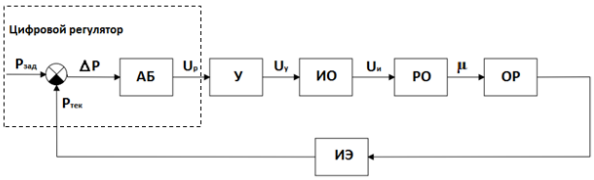


Рис.4. Функциональная схема САР давления пара за РОУ.

Управляющие импульсы регулятора U_p усиливаются в блоке усилителя *У* до уровня достаточного для включения электродвигателя исполнительного механизма (ИО). Под действием управляющего сигнала исполнительного органа $U_и$ орган регулирования (РО), т.е. регулирующий клапан (РК), переместится в заданном направлении на величину μ, тем самым, приводя к увеличению (уменьшению) расхода пара и, следовательно, к изменению давления пара за РОУ до заданного значения. В регуляторе уровня реализуется *ПИ*-закон регулирования, однако, из-за ввода в регулятор отрицательной обратной связи регулятор будет работать по *П*-закону, обеспечивая перемещение регулирующего органа с переменной скоростью.

Динамические свойства САР давления пара за РОУ описываются следующими передаточными функциями:

- объекта регулирования:

$$W(p)=\frac{k}{Tp+1}$$

- усилителя:

$$W(S)=\frac{U(S)}{U_p(S)}=k.$$

-электрического механизма однооборотного (МЭО) совместно с РК:

$$W(S)=\frac{k}{S}.$$

В качестве алгоритма функционирования алгоритмического блока принят *ПИ*-закон регулирования с передаточной функцией:

$$W(S)=k_П+\frac{k_И}{S}.$$

Интерпретация математических моделей автоматических систем совокупностью передаточных функций объекта регулирования и элементов регулятора позволяет представлять математические модели САР графически в виде структурных схем [7].

Таким образом, на основе функциональной схемы САР (рис.4) структурную схему исследуемой модели САР давления пара за РОУ можно реализовать в виде, представленном на рис. 5.

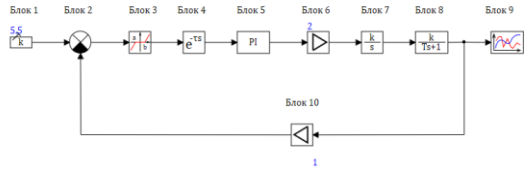


Рис.5. Структурная схема модели САР давления пара за РОУ.

В данной схеме звено $e^{-\tau s}$ учитывает запаздывание в САР, вызванное процессом квантования непрерывного сигнала по времени. Также в структуру САР введено линейное звено с зоной нечувствительности.

Числовые значения коэффициентов, принятые для расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1. *Значение свойств блоков структурной схемы.*

Блок	Свойство	Значение
1	Заданное значение	k = 5.5 кгс/см^2
2	Весовые множителями для каждого из входов	[1;–1]
3	Нижняя граница зоны нечувствительности	a = –0.2
	Верхняя граница зоны нечувствительности	b = 0.2
	Коэффициент усиления	k = 1
4	Время запаздывания	τ = 0,02 с
5	Пропорциональный коэффициент	k_n =14
	Интегральный коэффициент	k_u = 2.5
6	Коэффициент усиления	k =0.05
7	Коэффициент усиления	k = 2.5
8	Коэффициент усиления	k = 1.5
	Постоянная времени	T = 0.05 с
9	Весовые множителями для каждого из входов	[1;1]
10	Количество входных портов	1
11	Коэффициент усиления	k = 1

Числовые значения коэффициентов в структурной модели подбирались в процессе моделирования. График переходного процесса представлен на рис. 6.

Анализ графика показывает, что САР, рассчитанная для поддержания давления за РОУ является устойчивой, график переходного процесса - монотонный.

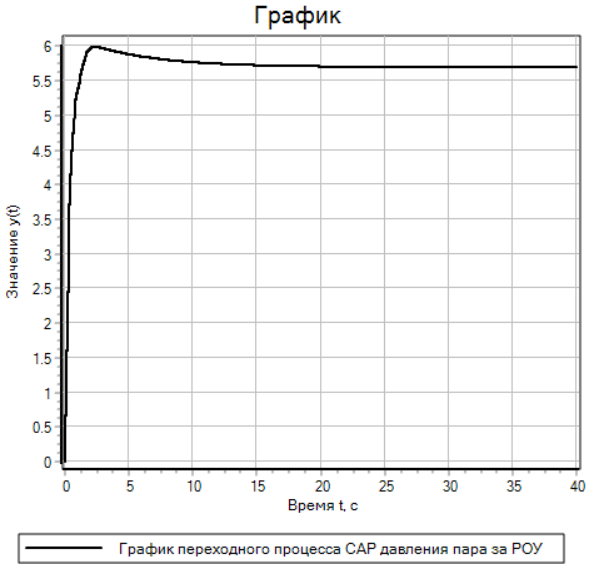


Рис.6. График переходного процесса в САР давления пара за РОУ.

Данный переходный процесс характеризуется следующими основными показателями качества:

- статическая ошибка $\Delta P = P_{зад} - P_{уст}$, т.е. $\Delta P = 5.5 - 5.7 = 0.20$ кгс/см^2;
- время регулирования $t_p = 13.26$ с.

Для улучшения показателей качества переходного процесса поводилась параметрическая оптимизация САР давления пара за РОУ. В качестве варьируемых величин выбраны пропорциональный и интегральный коэффициенты блока 5 (рис. 5), оптимальные значения которых определялись в процессе моделирования САР при нулевых начальных условиях с учетом следующих ограничений:

- заданное значение отклонения Δ регулируемой величины $P_{зад}$ должно быть не более 5%, т.е. $\Delta = 5.5 \cdot 0.05 = 0.275$ кгс/см^2;
- время переходного процесса не более 15 с.

Исходными данными для моделирования САР были следующие: максимальный шаг интегрирования 0.01 с; минимальный шаг интегриро-

вания 0.001 с; конечное время расчета 40 с; относительная ошибка 1*e*-4; абсолютная ошибка 1*e*-1; метод интегрирования «Адаптипный 1».

Уточненная структура САР для расчета оптимальных параметров представлена на рис. 7.

Настройка параметров модели произведена в соответствии с данными из таблицы 2.

Таблица 2. *Свойства блока Оптимизация параметров модели.*

Блок	Свойство	Значение
Оптимизация	Режим оптимизации параметров	По полному переходному процессу
	Периодичность анализа критериев оптимизации при расчете в динамике, с	1
	Начальное приближение выходов блока	[10, 2.5]
	Минимальные значения выходов блока	[10, 2.5]
	Максимальные значения выходов блока	[15, 5]
	Абсолютная точность подбора значений выходов	[0.2, 0.05]
	Начальное приращение выходов	[0.01, 0.1]
	Минимальные значения входных критериев оптимизации	[5.225, 0]
	Максимальные значения входных критериев оптимизации	[5.775, 15]
	Тип суммарного критерия оптимизации	Аддитивный
	Метод оптимизации	Симплекс
	Максимальное количество повторных моделирований при расчете по полному переходному процессу	700
	Выдача информации о процессе оптимизации	Да

В результате проведенной параметрической оптимизации найдены оптимальные значения коэффициентов усиления k_n и k_u *ПИ*-регулятора, равные 15 и *2.5*, при которых время регулирования составило 9.59 с. График переходного процесса при оптимальной настройке *САР* представлен на рис. 8.

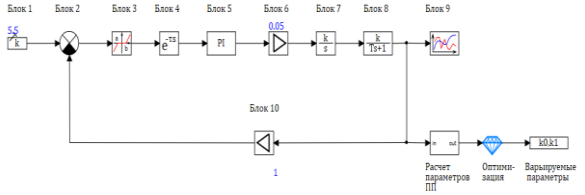


Рис.7. Структурная схема моделирования САР для оптимизации пропорционального и интегрального коэффициентов усиления *ПИ*-регулятора.

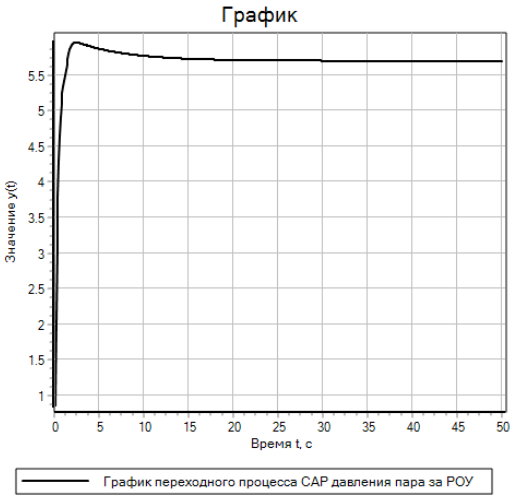


Рис.8. Переходный процесс САР давления пара за РОУ с оптимальными параметрами.

Заключение

Согласно функциональному назначению, в редукционных установках происходит прохождение пара через расчетное количество ступеней дросселирования до достижения необходимых потребителю параметров давления и температуры пара. Для поддержания заданных характеристик пара в состав редукционно-охладительной установки включены пневмоприводные либо электрические регуляторы, которые включаются в работу автоматически. Оптимизировать работу регуляторов возможно путем расчета их оптимальных параметров настроек.

В связи с чем, в данной статье рассмотрен пример моделирования САР редукционно-охладительной установки и выполнен расчет оптимальных параметров регулирования в среде динамического моделирования SiminTech. В результате проведенной параметрической оптими-

зации найдены оптимальные значения *ПИ*-регулятора, при которых время регулирования уменьшилось до 9.59 с в сравнении с первоначальными расчетами, что составляло 13.26 с.

Список литературы

1. Ковриго Ю. М., Баган Т. Г. Синтез робастного регулятора для объектов с изменяющимися параметрами. Доклады БГУИР: научн. журнал. – Минск: БГУИР, 2015, № 2 (88). - С. 168-172.
2. Кулаков Г. Т. Структурно-параметрическая оптимизация динамических систем теплоэнергетических процессов ТЭС и АЭС. Доклады БГУИР: научн. журнал. – Минск: БГУИР, 2015, № 2 (88). - С. 144-148.
3. URL: http://nuclearfactor.ru/energy/aes/74-243.html (дата обращения: 22.02.2021).
4. URL: https://fb.ru/article/316770/reduktsionno-ohladitelnaya-ustanovka-printsip-rabotyi (дата обращения: 22.02.2021).
5. Атомные электрические станции: [Учеб. по курсу "Атом. электр. станции" для вузов по спец. "Проектирование и эксплуатация АЭС", "Конструирование и монтаж оборуд. АЭС", "Основы автомат. управления АЭС"] / Т. Х. Маргулова, 296 с. ил. 22 см, 5-е изд., перераб. и доп. М. Изд-во лит. по атом. технике 1994.
6. Атрошенко Ю.К. Автоматизированные системы управления АЭС/ Ю.К. Атрошенко, Е.В. Иванова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 81 с.
7. Карташов Б.А., Шабаев Е.А., Козлов О.С., Щекатуров А.М. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech: Практикум по моделированию систем автоматического регулирования. – М.: ДМК Прогресс, 2017. – 424 с.

References

1. Kovrigo Yu. M., Bagan T. G. *Sintez robastnogo regulyatora dlya ob'ektov s izmenyayushchimisya parametrami. [Robust Controller Synthesis for Objects with Variable Parameters]*. - Minsk BSUIR, 2015, № 2(88). – P. 168-172.
2. Kulakov G. T. *Strukturno-parametricheskaya optimizatsiya dinamicheskikh system teploenergeticeskikh protsessov TES i AES. [Structural and Parametric Optimization of Dynamic Systems of Heat and Power Processes of TPP and NPP]*. - Minsk BSUIR, 2015, № 2(88). – P. 144-148.
3. URL: *http://nuclearfactor.ru/energy/aes/74-243.html* (application date: 22.02.2021).
4. URL: *https://fb.ru/article/316770/reduktsionno-ohladitelnaya-ustanovka-printsip-rabotyi* (application date: 22.02.2021).
5. T. Kh. Margulova. *Atomnye elektricheskie stantsii [Nuclear Power Plants]*. – Moskow: izdatel′stvo lit. po atom. Tekhnike, 1994. – 296 p.
6. Atroshenko Ju. K. *Avtomatizirovannie sistmy upravleniya AES [Automated Control Systems of Nuclear Power Plants]* . Ju. K Atroshenko, E.V. Ivanova. – Tomsk: izdatel′stvo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2014. – 81 p.
7. Kartashov B.A., Shabaev E.A., Kozlov O.S., Shchekaturov A.M. *Sreda dinamicheskogo mo-deliro-vaniya tekhnicheskikh sistem SimInTech [SimInTech Environment for Dynamic Modeling of Technical Systems]*: – Moskow.: DMK Progress, 2017. – 424 p.

УДК 621.039.56

Сетевая модель энергораспределения активной зоны в радиальном направлении для реактора типа ВВЭР на базе электронных нейронов

С.А. Качур
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, kachur_62@mail.ru

Статья поступила 29.01.2021 г.; после доработки 02.02.2021 г.

Аннотация

Предложен подход, позволяющий использовать возможности нейросетевых технологий для определения деформации поля энерговыделения в радиальном направлении активной зоны реактора типа ВВЭР. Создана модель электронного нейрона, позволяющая расширить область применения современных систем искусственного интеллекта.

Ключевые слова: нейронные сети, модель нейрона, энергораспределение, активная зона реактора.

Network model of energy distribution of the core in the radial direction for a VVER-type reactor based on electronic neurons

S.A. Kachur
Sevastopol state university, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, kachur_62@mail.ru

Received 29.01.2021 y.; received in final form 02.02.2021 y.

Abstract

An approach is proposed that allows using the capabilities of neural network technologies to determine the deformation of the energy release field in the radial direction of the core of a VVER reactor. An electronic neuron model has been created that allows expanding the scope of application of modern artificial intelligence systems.

Keywords: neural networks, model of a neuron, power distribution, active zone of reactor.

Введение

Современные тенденции развития науки и техники определяют новые требования к процессам управления сложными объектами. В настоящее время актуальным является использование нейросетевых технологий при решении различных практических задач [1-8].

Задача идентификации состояния объекта должна предшествовать решению вопросов, связанных с его управлением в условиях неопределенности. Наблюдающаяся тенденция роста мощности и энергонапряженности реакторов приводит к необходимости уменьшения различия между номинальными эксплуатационными и предельно допустимыми мощностями, что вызывает в принципе рост выработки топливной загрузки реактора. Данное обстоятельство диктует необходимость осуществления качественной и надежной регистрации распределения энерговыделения и совершенствования методик расчетов.

В настоящее время для расчета распределения энерговыделения используются методики, которые базируются на интерполяции значений реперных точек с последующим введением соответствующих поправок.

Имеются две методики дискретного контроля распределения энерговыделения: эмпирическая и расчетно-экспериментальная. Первая

основана на использовании эмпирических соотношений, полученных экспериментально, вторая использует результаты физического расчета и дискретных измерений.

Одним из способов определения скорости изменения мощности в канале реактора является контроль и анализ акустических шумов теплоносителя по показаниям акустических гидрофоны, установленных на выходе каналов.

Представляется возможным использование шумового анализа для определения формы энерговыделения в радиальном направлении. Однако применение известных методик в этом случае не целесообразно из-за большого объема расчетов, связанных с расчетом корреляционных функций и линейной интерполяцией.

Поэтому предлагается использовать имитационное моделирование на основе нейросетевого подхода. Однако применение современных нейронных сетей для получения формы энергораспределения по поверхности невозможно по причине сложности сетевого описания.

Необходимо определить деформацию поля энерговыделения для реакторов типа ВВЭР, учитывая как усиление акустических шумов, так и их ослабление, поскольку в режиме поверхностного кипения существует линейная зависимость амплитуды шумов от величины удельного теплового потока в канале активной зоны. В связи с этим предлагается описание электронного нейрона, в основу которого взята модель Маккаллоха—Питтса, дополненная функциями работы связанного колебательного контура. При этом сетевая или базовая функция является линейной, а структура сети однослойной рекуррентной.

Цель и задачи исследования

Цель исследования – определение деформации поля энерговыделения в радиальном направлении активной зоны реактора типа ВВЭР на основе применения нейросетевых технологий.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) провести анализ возможностей нейросетевых технологий для достижения поставленной цели;
2) создание модели электронного нейрона, позволяющего расширить область применения современных систем искусственного интеллекта;
3) использование предложенной модели нейрона для идентификации изменений поля тепловыделения.

Применение нейросетевых технологий для определения деформации поля энерговыделения активной зоны реактора

При построении ИНС в рассмотренную модель нейрона вносят существенные упрощения. При этом в зависимости от степени абстрагирования получают различные модели формальных (искусственных) нейроподобных элементов (НЭ) и, соответственно, ИНС. На практике широкое распространение получили ИНС с формально-логическими моделями НЭ, ведущими свою историю с 1943 г., когда Маккаллох и Питтс предложили соответствующую модель НЭ. Вместе формально-логическими моделями НЭ в последние годы интенсивно развиваются исследования в области ИНС импульсными НЭ, которые в большей степени соответствуют биологическому нейрону.

Модель формального нейрона или модель Маккаллоха—Питтса, представленная на рис.1, имеет входные сигналы $x_1, x_2, \ldots, x_m$, $j = 1, 2, \ldots, m$, которые умножаются на соответствующие веса синоптических связей $w_{i1}, w_{i2}, \ldots, w_{im}$ и суммируются, формируя значение u_i. Выходной сигнал i-го НЭ определяется с помощью выражения

$$y_i(t+1) = g\left(\sum_{j=1}^{m} w_{ij} x_j(t) - \theta_i\right), \qquad (1)$$

где g — функция преобразования нейрона; θ_i — пороговое значение; m — количество входов НЭ.

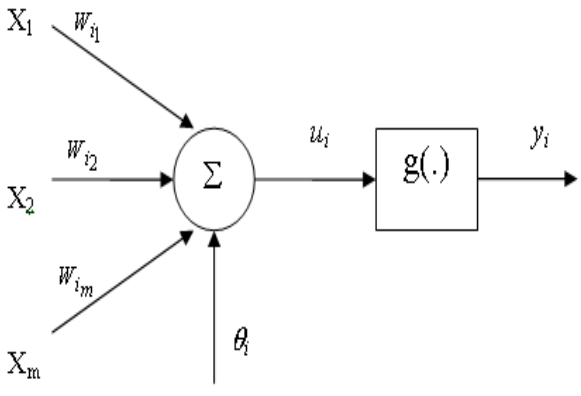


Рис. 1. Формальный нейронный элемент

Для модели НЭ Маккаллоха — Питтса функция преобразования $g(u_i)$ представляет единичную ступенчатую функцию, которая называется

также функцией Хевисайда и обозначается H(u_i):

$$g(u_i) = H(u_i) = \begin{cases} 1, & u_i \geq 0 \\ 0, & u_i < 0 \end{cases} . \quad (2)$$

Таким образом, выходной сигнал НЭ y_i =1, если

$$\sum_{j=1}^{m} w_{ij} x_j \geq \theta_i . \quad (3)$$

В ином случае выходной сигнал НЭ равен 0. Выходной сигнал может меняться только в дискретные моменты времени. Сетевая или базовая функция определяется выражением

$$net_i = u_i = \sum_{j=1}^{m} w_{ij} x_j - \theta_i = \sum_{j=0}^{m} w_{ij} x_j . \quad (4)$$

Формальные модели нейронов отличаются между собой видом сетевой функции и видом функции преобразования. ИНС состоит из большого числа взаимосвязанных НЭ. В статье предлагается использовать рекуррентные ИНС.

Поведение рекуррентных ИНС сложнее из-за наличия обратных связей (рис. 2). Обратные связи, действующие в пределах одного слоя НЭ, называют латеральными (от английского lateral — горизонтальный).

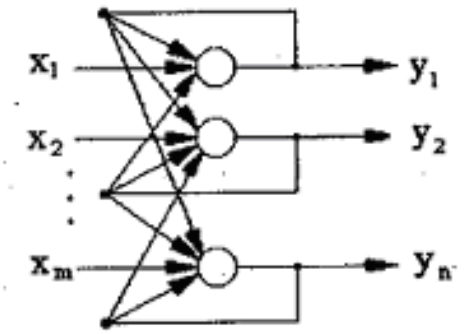


Рис. 2. Однослойные рекуррентные ИНС

Модель электронного нейрона и ее применение для идентификации изменения поля тепловыделения

Рассмотрим возможность использования известных электронных приборов для создания искусственных нейронов и искусственных нейронных сетей. Представляется интересным рассмотреть схему связанных колебательных контуров, позволяющую провести аналогии между влиянием коэффициента связности на работу контуров и изменением мощности в близко расположенных каналах активной зоны реактора.

Определим резонансные характеристики двух связанных колебательных контуров с индуктивной связью (рис.3).

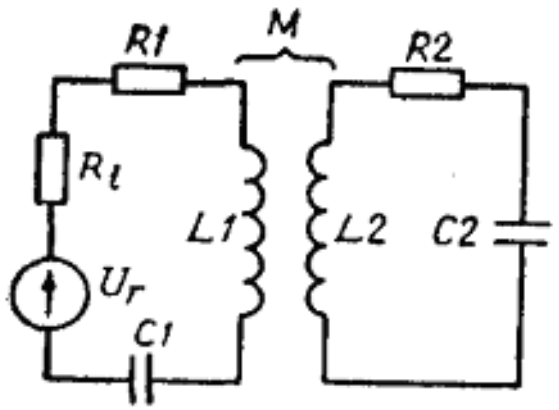


Рис. 3. Принципиальная схема двух колебательных контуров с трансформаторной (индуктивной) связью

Для построения семейства резонансных характеристик первичного контура исходным выражением является зависимость тока I_1 от частоты.

$$I_1 = \frac{U_{\tilde{A}}}{z_{1\acute{y}\hat{e}\hat{a}}} = \frac{U_{\tilde{A}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{\omega^2 M^2}{z_2^2} R_2\right)^2 + \left(x_1 - \frac{\omega^2 M^2}{z_2^2} x_2\right)^2}} , \quad (5)$$

$$x_1 = \omega L_1 - 1/\omega C_1 ,$$

$$x_2 = \omega L_2 - 1/\omega C_2 ,$$

$$z_2 = \sqrt{R_2^2 + (\omega L_2 - 1/\omega C_2)^2} ,$$

M – коэффициент взаимной индукции.

Допустим, что контуры идентичны. Частоты, при которых ток I_1будет максимальным, следующие

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC} , \quad (6)$$

$$\omega_2 = \omega_0 / \sqrt{1 + \sqrt{K_{CB}^2 - d^2}} , \quad (7)$$

$$\omega_3 = \omega_0 / \sqrt{1 - \sqrt{K_{CB}^2 - d^2}} , \quad (8)$$

$$K_{CB} = M / \sqrt{L_1 L_2} .$$

Коэффициент связи при критической связи между идентичными контурами равен

$$K_{CB.KP} = d , \quad (9)$$

где d – коэффициент затухания колебательного процесса.

Резонансные характеристики вторичного контура подобны резонансным характеристикам

первичного контура, поскольку ток I_2 определяется током I_1.

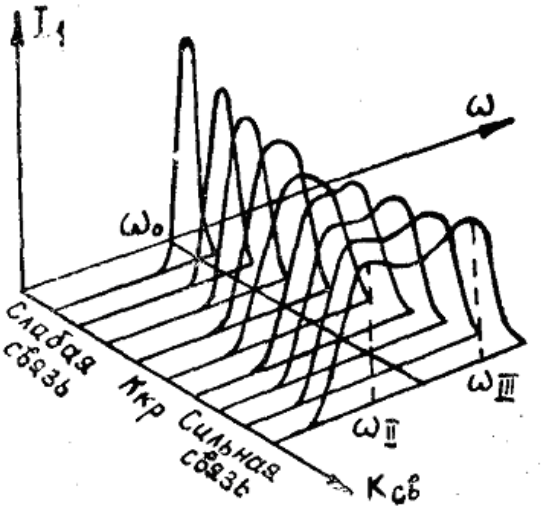


Рис. 4. Резонансные характеристики первичного контура при индуктивной связи между контурами

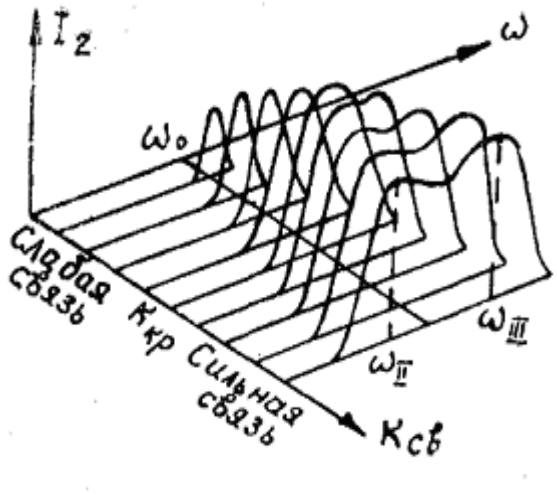


Рис.5. Резонансные характеристики вторичного контура при индуктивной связи между контурами

По аналогии со схемой связанных колебательных контуров электронный нейрон описывается коэффициентом связи K_{CB}, резонансными частотами ω_0, ω_2, ω_3, коэффициент затухания колебательного процесса d.

На вход i-о электронного модуля поступают сигналы $b_j(\omega_j)$ на частоте ω_j. Кроме того, возможно поступление внешнего сигнала b_{Ki}, например, с датчика. С выхода снимается сигнал $b_i(\omega_i)$ на частоте ω_i и сигнал признака p_i идентификации резонансных частот ω_{2i}, ω_{3i}.

Параметры ω_0 , d задаются и не изменяются в процессе функционирования сети. Например, для определения деформации поля энерговыделения активной зоны ВВЭР ω_1=3кГц, а d определяется параметрами теплоносителя. Частоты ω_{2i}, ω_{3i} вычисляются по формулам (7), (8) после определения коэффициентом связи

$$K_{CBi} = \frac{K_{CB} + b_{Kj} + \sum_{j=1}^{k} K_{CBj} b_j(\omega_j)}{s}, \qquad (10)$$

где s – количество ненулевых слагаемых числителя.

Первоначально, до начала моделирования все коэффициенты связи нейронов принимаются равными нулю.

Частота выходного сигнала соответствует минимальной частоте входных ненулевых сигналов

$$\omega_i = \min_{j, b_j \neq 0} \omega_j .$$

На выходе электронного нейрона после преобразования имеем:

$$1)\ b_i(\omega_i) = \begin{cases} 1, \text{ если } (K_{CBi} > d) \wedge \\ ((\omega_i \in [\omega_{2i} - \Delta\omega; \omega_{2i} + \Delta\omega]) \\ \vee (\omega_i \in [\omega_{3i} - \Delta\omega; \omega_{3i} + \Delta\omega])) \\ 0, \text{ в противном случае} \end{cases},$$

2) если $b_i(\omega_i)$=1, то

$$p_i(\omega_i) = \begin{cases} 0, \text{ если } \omega_i \in [\omega_{2i} - \Delta\omega; \omega_{2i} + \Delta\omega], \\ \text{то есть снижение мощности} \\ 1, \text{ если } \omega_i \in [\omega_{3i} - \Delta\omega; \omega_{3i} + \Delta\omega], \\ \text{то есть рост мощности} \end{cases},$$

$\Delta\omega$ – заданная величина.

При моделировании энергораспределения в активной зоне реактора на вход элементов сети подаются нормированные значения, полученные с акустических гидрофонов в контрольных точках, то есть

$$b_{Ki} = \frac{SA_i}{SA_{\max}},$$

где SA_i, SA_{max} – амплитуда шума, измеренная датчиком i-о канала, и максимальная амплитуда шума по активной зоне соответственно.

Работа сети продолжается до тех пор, пока

не будет выполнено следующее условие

$$\left| K_{CBi}^{(l+1)} - K_{CBi}^{(l)} \right| \le \varepsilon ,$$

где l – номер итерации.

Результатом моделирования являются значения коэффициентов K_{CB}, которые отражают степень деформации поля, а признак p определяет вызвана эта деформация ростом или снижением мощности.

Заключение

Предложен подход, позволяющий использовать возможности нейросетевых технологий для определения деформации поля энерговыделения в радиальном направлении активной зоны реактора типа ВВЭР. Создана модель электронного нейрона, позволяющая расширить область применения современных систем искусственного интеллекта.

Показаны возможности использования предложенной модели нейрона для идентификации изменений поля тепловыделения. Разработанный подход позволяет повысить быстродействие, что способствует предупреждению кризиса теплообмена.

Результаты исследование могут быть использованы для модификации СВРК ЯЭУ.

Список литературы

1. Емельянов И.Я., Ефанов А.И., Константинов Л.В. Научно-технические основы управления ядерными реакторами. – М.: Энергоиздат, 1981. – 360с.
2. Бахметьев А.М., Самойлов О.Б., Усынов А.М. Методы оценки и обеспечения безопасности ЯЭУ. – М.: Энергоиздат, 1988. – 136с.
3. Крамер Э.У. Ядерные реакторы с кипящей водой. – М.: Из-во иностр. лит-ры, 1960. – 509с.
4. Качур С.А. Идентификации формы поля тепловыделения в камере смешения ядерного реактора/ С.А. Качур // Пром. теплотехника. – Т.33, №4, 2011. – С.70-76.
5. *Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П.* Справочник по теплогидравлическим расчетам. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 360с.
6. *Новиков И.И., Воскресенский К.Д.* Прикладная термодинамика и теплопередача – М.: Атомиздат, 1977. – 352с.
7. Шаповалова С.И., Шараевский Г.И. Среда моделирования нейронных сетей для решения задач диагностики оборудования АЭС // Проблемы программирования – 2008. – № 2–3. – С. 675–678.
8. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.

References

1. Emelyanov I.Ya., Efanov A.I., Konstantsnov L.V. *Naucho-tehnicheskie osnovi upravlenya yadernimi reaktorami* [Scientific and technical control bases by nuclear reactors]. Moscow, Energoizdat, 1981, 360 p.
2. Bahmetev A.M., Samoylov O.B., *Usinov A.M. Metodi ochenki i obespecheniya bezopastnosti YaEU* [Methods of estimation and providing of the NPE safety]. Moscow, Energoizdat, 1988, 136 p.
3. Kramer E. Y. *Yadernie reactori s kipyashey vodoy* [Nuclear reactors with boiling water]. Moscow, Izvo inostr. lit-ri, 1960, 509 p.
4. Kachur S.A. Control by nuclear reactor by means of external electromagnetic radiation**.** *Promyshlennaya teplotekhnika*, 2011, Vol. 33, No. 4, pp. 70-76.
5. Kirilov P.L., Yur'ev Yu.L., Bobkov V.P. *Spravochik po teplogidravlicheskim raschyotam* [Reference book upon heat-hydraulic accounts]. Moskow, Energoizdat, 1990, 360p. (in Russian)
6. Novikov I.I., Voskresenskij K.D. *Prikladnaya termodinamika I teploperedacha* [Applied thermodynamics and heat] Moskow, Atomizdat , 1977, 352p. (in Russian)
7. Shapovalova S.I., Sharoevskij G.I. Environment of design of neuron nets for the decision of tasks of diagnostics of equipment of APP. *Problemy hrogrammirovaniya***,** 2008, № 2-3, pp. 675-678.
8. Hajkin S. *Nejronnye seti: polnyj kurs* [Neuron nets: complete course]. Moskow, Izdatel'skij dom «Vil'yams», 2006, 1104 p.

УДК 621.039.5

Исследование конструкции органа регулирования системы управления и защиты реакторной установки РБМК-1000

В.В.Шаповаленко[1], К.Б.Матузаев.[2], Г.Я.Мерзликин[3].
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33, г. Севастополь, 299053, Россия.[1]shapovalenkovita@rambler.ru

Статья поступила 27.01.2021 г.; после доработки 03.02.2021 г.

Аннотация

Исследованы причины модернизации конструкции органов регулирования системы управления и защиты реакторной установки РБМК – 1000, конструктивные характеристики ОР СУЗ. Проанализированы основные направления снижения величины положительного парового коэффициента реактивности.

Ключевые слова: орган регулирования, система управления и защиты, положительный паровой коэффициент реактивности, неравномерность тепловыделения.

Analysis of the design control rods for the control and protection system of the nuclear reactor RBMK-1000

V.V.Shapovalenko[1], K.B. Matuzaev[2],G.Ya. Merzlikin[3]
Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st,, Sevastopol, 299053, Russia
[1]shapovalenkovita@rambler.ru

Received 27.01.2021y.; received in final form 03.02.2021y.

Abstract

The reasons for the modernization of the design of the controls of the control and protection system of the reactor plant RBMK-1000 are investigated. The design of control rods of the reactor control and protection system is conside. Analyzed the main directions of reducing the value of the positive vapor coefficient of reactivity.

Keywords: control rods, control and protection system, the positive steam coefficient of reactivity, uneven heat release.

Введение

Реактор типа РБМК не обладает свойством саморегуляции мощности, сложностью его управления является значительная неравномерность энерговыделения по высоте активной зоны, наличие положительного парового эффекта реактивности.

По сути, система управления и защиты является основным и единственным средством оперативного управления реактивностью.

Система управления и защиты (СУЗ) предназначена для осуществления пуска реактора, регулирования уровня нейтронной мощности реактора, компенсации выгорания, отравления и температурных эффектов, стабилизации полей энерговыделения в реакторе, контроля уровня мощности и скорости ее изменения.

Особенностью СУЗ реактора РБМК-1000 является:

1) Конструктивное исполнение стержней органов регулирования с учетом их функционального назначения. Стержни ручного регулирования, стержни автоматического регулирования, укороченные стержни-поглотители предназначены для высотного и локального регулирования поля энерговыделения активной зоны; стержни аварийной защиты используются для останова реактора в режиме аварийной защиты.

2) Схема ввода органов регулирования системы

управления и защиты стержней регулирования в активную зону. Для выравнивания поля энерговыделения по высоте активной зоны исполнительные органы ручного регулирования, автоматического регулирования вводятся сверху вниз, а укороченные стержни-поглотители - снизу вверх. Стержни аварийной защиты исполнительными органами вводятся в активную зону сверху вниз.

Постановка цели и задач научного исследования

Цель работы – исследовать влияния изменений в конструкции ОР СУЗ на ядерную безопасность реакторной установки РБМК-1000.

Для достижения цели исследования решаются следующие задачи:

- анализ конструктивного исполнения стержней органов регулирования СУЗ;
- исследование изменения величины показателя положительного парового эффекта реактивности.

Последовательное совершенствование конструкции органов регулирования после аварии на Чернобыльской АЭС с реактором РБМК-1000

Система управления и защиты ядерного реактора, которая применялась в ядерных реакторах в проектах РБМК-1000 до аварии на Чернобыльской АЭС имела значительные недостатки, это касалось самого исполнения конструкции стержней, способа охлаждения стержней-поглотителей, высоты поглотителя в стержне, принятого количества органов регулирования в составе аварийной защиты.

Если сравнивать эскизный проект РБМК, разработанный в 1965 году с рабочим проектом, то стоит обратить внимание на то, что первоначально длина стержня ручного регулирования СУЗ была заложена 7 м, что позволяло перекрывать активную зону по всей её высоте, однако в рабочем проекте длина стержня ручного регулирования была уменьшена до 5 м.

Существенным недостатком конструкции стержня ручного регулирования является наличие столба воды между вытеснителем и поглотителем в районе телескопического соединения, что является причиной большого положительного эффекта реактивности.

Проект не учитывал, что поглощающая способность графитового вытеснителя воды, подвешенного снизу к поглощающей части стержня, меньше, чем у вытесняемого им из нижней части канала столба воды. Это приводило к тому, что при движении стержня СУЗ вниз (из его крайнего верхнего положения) происходило замещение сильного поглотителя нейтронов (столб воды под вытеснителем) на менее эффективный поглотитель (графитовый вытеснитель).

В итоге это приводило к введению положительной реактивности в нижнюю часть активной зоны. При определенном составе активной зоны и профиле поля энерговыделения могло привести к образованию локальной критической массы.

По разным оценкам величина парового коэффициента реактивности могла достигать +5 βэфф.

Только после расследования причин аварии на Чернобыльской АЭС была проведена масштабная работа по совершенствованию системы управления и защиты на всех проектах с реакторами РБМК-1000.

Отличительной особенностью от предыдущих конструкций стало изменение длины стержня ручного регулирования в сторону увеличения - с 5 м до 6,55 м. Таким образом, при положении стержней в крайнем верхнем положении поглощающая часть находится на верхнем срезе активной зоны, а низ вытеснителя − на нижнем срезе активной зоны. Это обеспечивает ввод отрицательной реактивности во всем диапазоне перемещения и исключает ввод положительной реактивности во всех ситуациях, что не исключалось при прежней конструкции [2].

Были внесены изменения в конструкцию узла соединения вытеснителя с поглотителем - разработана конструкция с утолщенным телескопом и юбочной конструкцией нижних поглотителей, в качестве поглощающего материала использован титанат диспрозия.

Дополнительно для снижения величины показателя положительного парового эффекта реактивности в состав топливной композиции введен поглотитель эрбий, а обогащение ^{235}U увеличено с 1,8% до 2,8% .

Современное исполнение органов регулирования системы управления и защиты РБМК-1000

Учитывая выявленные в ходе длительной эксплуатации (более 30 лет) реакторов РБМК-1000 деформации графитовых блоков в активной зоне, были проведены дополнительные мероприятия по повышению ядерной безопасности реакторной установки. В том числе это коснулось и

модернизации конструкции регулирующих органов СУЗ.

Разработан кластерный регулирующий орган СУЗ. Представляет собой цельнометаллический стержень длиной 16,5 м, внутри которого в 12 отверстиях, расположенных вдоль оси трубы, находятся свободно перемещающиеся вдоль оси поглощающие элементы (ПЭЛ), заполненные титанатом диспрозия, материалом обладающим большей поглощающей способностью и меньшим объемным распуханием, чем карбид бора. Перемещение ПЭЛ производится с помощью ленты сервопривода, проходящей через технологические отверстия в изделии.

Стержень быстрой аварийной защиты СУЗ предназначен для аварийного останова реактора, представляет собой ряд подвижно сочлененных кольцевых ПЭЛ, скрепленных друг с другом и размещенных на подвеске. Стержень быстрой аварийной защиты содержит только поглощающую часть из 7 кольцевых ПЭЛ, содержащих внутри вкладыши из карбида бора.

Поглощающие элементы герметизированы концевыми деталями из алюминиевого сплава. Диаметр поглощающих элементов больше, чем у стержней ручного регулирования. Между собой ПЭЛ закреплены подвижным неразъемным соединением. Внутри стержней и ПЭЛ расположен газовый канал. Общая длина стержня быстрой аварийной защиты - 8110 мм.

Стержень компенсирующий предназначен для выравнивания полей энерговыделения в реакторах РБМК-1000. Стержень состоит из 4 элементов поглощающих, 6 вытеснителей, соединенных между собой подвижным неразъемным соединением. Элемент поглощающий представляет собой кольцевой ПЭЛ, внутри которого расположены кольцевые вкладыши из карбида бора. ПЭЛ герметизирован концевыми деталями из алюминиевого сплава, обеспечивающими соединение ПЭЛ между собой. Вытеснитель представляет собой трубу, внутри которой находится цилиндрический графитовый вкладыш. Графитовый вкладыш зафиксирован с двух сторон упорами. Вытеснитель герметизирован концевыми деталями, обеспечивающими соединение деталей между собой. Общая длина стержня компенсирующего - 12245 мм.

Стержень дополнительного поглотителя (СДП) предназначен для компенсации положительного парового эффекта реактивности и получения источников гамма-излучения после облучения стержней в реакторах РБМК-1000.

Длина стержня дополнительного поглотителя составляет 10033 мм. Поглощающая часть стержня состоит из 16 звеньев, расположенных в следующей последовательности - сверху 2 звена с нержавеющей сталью, затем 12 звеньев с поглощающим нейтроны материалом (кобальтом ^{59}Co), снизу 2 звена с нержавеющей сталью длиной около 0,5 м.

Каждое рабочее звено с кобальтом состоит из несущей трубы Ø36х3 мм из стали, вокруг которой с помощью двух решеток Ø79 мм закреплены шесть пеналов Ø10,4 мм из нержавеющей стали. Внутрь каждого пенала закладываются по две капсулы с таблетками из ^{59}Co.

После пятилетнего облучения в реакторной установке природный изотоп ^{59}Co трансформируется в ^{60}Co. Цель его наработки заключается в дальнейшем использовании в специализированных установках - центрах облучения как источника гамма-излучения. Используется в ядерной медицине для стереотаксической радиохирургии, лучевой терапии, стерилизации медицинских инструментов и материалов, создания повышенной прочности полимеров, очищения промышленных отходов, селекции сельскохозяйственных культур.

Но главная цель использования стержней дополнительного поглотителя, это обеспечение безопасной эксплуатации реактора за счет поддержания парового коэффициента реактивности в заданных технологическим регламентом пределах. Так, для современных реакторов РБМК допускается коэффициент реактивности не более +1,0 βэфф.

Положительная величина парового коэффициента реактивности допустима только при условии, что во всех эксплуатационных режимах быстрый мощностной коэффициент реактивности отрицателен.

В Правилах ядерной безопасности реакторных установок атомных станций (НП-082-07) для ректоров типа РБМК говорится о необходимости стремиться к тому, чтобы значения парового коэффициента реактивности при нормальной эксплуатации и при нарушениях нормальной эксплуатации, включая проектные аварии, были близки к нулю[3].

Выводы

Таким образом, проведенные исследования показали, что внесенные изменения в конструкцию стержней органов регулирования системы управления и защиты позволяют значительно снизить величину положительного парового эффекта реактивности и тем самым обеспечить бо-

лее стабильную эксплуатацию реакторной установки.

Список литературы

1. Тевлин С.А. Атомные электрические станции с реакторами ВВЭР–1000. / С.А.Тевлин.-М.:Издательский дом МЭИ, 2008. – 358с.
2. ШелеговА.С.Физические особенности и конструкция реактора РБМК–1000 /А.С.Шелегов, С.Т.Лескин, В.И.Слободчук – М.:НИЯУ МИФИ, 2011. – 64с.
3. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии "Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций" (НП-082-07).

References

1. Tevlin S. A. Nuclear power plants with VVER–1000 reactors. / S. A. Tevlin.-M.:Publishing house MEI, 2008. –358p.
2. 3. Shelegov A. S. the Physical features and design of the RBMK-1000 reactor / A. S. Shelegov, S. T. Leskin, V. I. Slobodchuk – M.: MEI, 2011. –64p.
3. Federal norms and rules in the field of atomic energy use "Nuclear Safety Rules of Reactor Installations of Nuclear Power Plants" (NP-082-07).

УДК 621.039.538:629.12-8

Способность Плавучей атомной теплоэлектростанции «Академик Ломоносов» противостоять внутренним и внешним угрозам в системе физической защиты

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

Статья поступила 28.01.2021 г.; после доработки 03.02.2021 г.

Аннотация

В статье рассмотрены основные угрозы безопасности Плавучей атомной теплоэлектростанции «Академик Ломоносов» от несанкционированных действий нарушителей различного качества. Обозначены сложности проектирования системы физической защиты для данного объекта, показана необходимость для обеспечения эффективной работы системы физической защиты комплексного подхода при её проектировании.

Ключевые слова: физические барьеры реакторной установки, плавучая несамоходная атомная теплоэлектростанция, система физической защиты ядерного объекта, несанкционированные действия нарушителя.

The ability of the floating nuclear power plant "Akademik Lomonosov" to resist internal and external threats in the physical protection system

V.V. Shapovalenko
Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st,, Sevastopol, 299053, Russia
shapovalenkovita@rambler.ru

Received 28.01.2021y.; received in final form 03.02.2021y.

Abstract

The article discusses the main threats to the safety of the floating nuclear thermal power plant "Akademik Lomonosov" from unauthorized actions of violators. The difficulties of designing a physical protection system for a given object are indicated. Provide an integrated approach to the design of a physical protection system in order to increase its efficiency.

Keywords: physical barriers of a reactor plant, a floating non-self-propelled nuclear thermal power plant, a system of physical protection of a nuclear facility, unauthorized actions of an intruder.

Введение

Плавучая атомная теплоэлектростанция «Академик Ломоносов» (ПАТЭС) относится к многофункциональным ядерным энергетическим установкам, может использоваться для получения электрической, тепловой энергии, а также для опреснения морской воды. Является уникальным и одновременно сложным проектом с точки зрения конструктивного исполнения и создания для него эффективной системы физической защиты.

Плавучая атомная теплоэлектростанция «Академик Ломоносов» - проект несамоходного судна, на базе которого установлены две реакторные установки КЛТ-40С, используемых на атомных ледоколах, с ядерным топливом, в связи с чем, этот объект сразу приобретает статус ядерно-опасного объекта.

Находящиеся на территории объекта ядерные материалы и радиоактивные вещества подлежат обязательному государственному учету и контролю, требования к которым определены Федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии «Основные правила учета и контроля ядерных материалов» НП-030-12 (от 09.11.2012г.) [1].

Требования по организации системы физической защиты ПАТЭС определены Федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии «Требования к физической защите судов с ядерными реакторами, судов атомно-технологического обслуживания, судов, транспортирующих ядерные материалы, и плавучих атомных станций» (НП-085-19) от 01.04.2019г [2].

При эксплуатации, при перегрузках и буксировке ПАТЭС к месту проведения ремонтных работ и её отсутствия в этот период на территории станции, указанная территория может быть подвержена несанкционированным действиям как со стороны внешних нарушителей - диверсионных групп, так и со стороны внутренних нарушителей – персонала, обслуживающего работу станции, что тоже не исключается.

В связи с этим является актуальным анализ системы физической защиты плавучей атомной теплоэлектростанции и её безопасности.

Постановка цели и задач научного исследования

Цель работы – исследовать безопасность эксплуатации Плавучей атомной тепловой электростанции «Академик Ломоносов» на предмет противостояния внутренним и внешним угрозам в системе физической защиты.

Для достижения поставленной цели исследования в работе решаются следующие задачи:

- исследование характеристик проекта ПАТЭС;
- исследование защищенности ПАТЭС от внешних угроз, через анализ эффективности созданных на объекте физических барьеров локализации радиоактивных веществ на пути выхода их в окружающую среду, а также изучения организации системы физической защиты объекта;
- исследование защищенности ПАТЭС от внутренних угроз, через анализ организации работы автоматической системы управления технологическими процессами (АСУТП) и используемых систем безопасности на плавучей атомной станции.

Характеристики проекта Плавучей атомной тепловой электростанции «Академик Ломоносов»

Плавучая атомная тепловая электростанция проекта 20870 относится к атомным станциям малой мощности.

В состав ПАТЭС входят:

1. Плавучий энергоблок с двумя реакторными установками (РУ) КЛТ-40С;
2. Две паротурбинные установками (ПТУ) ТК-35/38-3.4с. В состав каждой паротурбинной установки ТК-35/38-3.4 входят: паровая турбина с системой травления пара, валоповоротное устройство, система парораспределения со стопорными клапанами, система регулирования и защиты.
3. Гидротехнические сооружения.
4. Береговые сооружения, предназначенные для передачи выработанной электрической и тепловой энергии во внешние сети для распределения потребителям.

В корпусе ПАТЭС помимо основного энергетического оборудования размещены хранилища свежих тепловыделяющих сборок (СТВС), отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС), твердых радиоактивных отходов (ТРО) и жидких радиоактивных отходов (ЖРО), электроэнергетическая система (ЭЭС), автоматическая система управления (АСУ) «Лагуна», общесудовые системы и оборудование, а также жилые и служебные помещения.

Организация защиты ПАТЭС от внешних угроз

Под каждый ядерный объект с учетом места его расположения, особенностей эксплуатации, конструктивного решения ядерной установки разрабатываются модели угроз, модели нарушителей и соответственно этому модели защиты объекта.

Задача - защита ПАТЭС от внешних и внутренних угроз, должна решаться комплексно, путем интегрирования в систему физической защиты объекта систем, отвечающих за безопасную эксплуатацию ЯЭУ.

Для этого выстраивается многоэшелонированная защита, куда входят система физической защиты как самого объекта, так и его периметра, охрана гидротехнических сооружений, беговых

сооружений, компоновка основного и вспомогательного оборудования в корпусе судовой установки, системы безопасности ЯЭУ, комплекс физических барьеров, препятствующих выходу радиоактивных веществ в окружающую среду.

Выстроенная система физических барьеров, куда входят топливная таблетка, оболочка твэла, замкнутый контур циркуляции теплоносителя, защитная оболочка реакторной установки (аппаратное помещение), защитная оболочка реакторного отсека, корпус судна позволяют последовательно эффективно локализовать в аварийных ситуациях выход радиоактивных веществ на каждом уровне.

В случае диверсионных действий со стороны воздушного пространства, к примеру, падения самолета, реакторная установка от разрушения защищается упрочненной защитной оболочкой реакторного отсека и аппаратного помещения.

Построенные гидротехнические сооружения в виде мола и базирование плавучей станции в бухте позволяют обеспечить её защиту от цунами, сильных порывов ветра, ледяных наносов.

Со стороны системы физической защиты ПАТЭС от внешних угроз усиливается за счет организации многоуровневой системы контроля доступа, системы инженерно-технических средств, системы видеонаблюдения, системы защиты информации.

При проектировании системы физической защиты также важно учитывать:

- место расположения ПАТЭС, а именно, в прибрежной зоне г. Певек (Чукотской области), омываемого Восточно-Сибирским морем, что требует обеспечить защиту объекта не только со стороны береговой зоны, но и со стороны моря, а также со стороны воздушного пространства;
- климатические условия эксплуатации - в условиях господства арктического климата, частых штормов, где в зимний период температура достигает – 35°С, а порывы ветра скорости 20-40 м/с, требуется тщательный выбор инженерно-технических средств, способных надежно работать в данных диапазонах температур, соответствующей настройки оборудования и способа монтажа.

Для обнаружения нарушителей, пытающихся проникнуть на ПАТЭС со стороны водной среды рекомендуется применять гидроакустические станции и магнитометрические средства, позволяющие обнаружить и определять координаты подводных нарушителей, а также надводных целей.

Принцип действия магнитометрических средств основан на пассивной регистрации низкочастотных локальных возмущений магнитного поля Земли, вызванных перемещением ферромагнитных предметов (акваланг, автомат, магнитные мины и др.) вблизи кабельного чувствительного элемента.

Гидроакустические средства предназначены для физической защиты объектов от действий нарушителей на морских и пресноводных участках охраняемых рубежей или зон в толще водной среды от поверхности до глубины в десятки метров. Зона, закрываемая одним прибором, может составлять до 1 км.

Относительно охраны береговой части могут быть использованы комбинированные системы, работающие на разных принципах действия, например, инфракрасные извещатели, радиоволновые извещатели совместно с системой видеонаблюдения. Обнаружение летательных аппаратов со стороны воздушной среды может быть обеспечено применением радиолокационных установок.

Организация защиты ПАТЭС от внутренних угроз

Здесь следует уделить особое внимание работе системы автоматического управления технологическими процессами, которая отвечает за автоматическое управление технологическими процессами и автоматический контроль параметров и режимов работы ПАТЭС.

Для ядерной энергетической установки АСУТП является самым уязвимым и чувствительным элементом в системе безопасности реакторной установки и может быть подвержен киберугрозам со стороны внутреннего нарушителя - оперативного персонала, владеющего знаниями алгоритма обработки данных, способа построения системы АСУТП.

Сбой в её работе может привести к катастрофическим последствиям.

В связи с этим необходимо: минимизировать влияние принятия решения человека на работу системы, в максимальном объеме применить в работе системы программное обеспечение, разработанное российскими производителями, исключить возможность установки и использования в оборудовании незадекларированных возможностей, то есть функций, которые могут оказаться вредоносными, разработать

комплекс мер, направленных на противодействие киберугрозам в отношении ядерных энергетических установок.

Ответственными за решение этих задач являются: Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники имени Н.А.Доллежаля (НИКИЭТ), АО «Всероссийский Научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций» (ВНИИАЭС).

Разрабатываемые современные системы автоматического управления (САУ), используемые в реакторных установках, как правило, имеют распределенную структуру.

Преимущества распределенной структуры вычислений состоят в следующем:

- при расширении САУ «вычислительная мощность» системы растет пропорционально увеличению числа управляемых механизмов и контролируемых параметров, так как каждый добавляемый функциональный модуль содержит свой процессор;
- уменьшение нагрузки на шине ввода/вывода;
- высокая «живучесть» системы — каждый модуль способен автономно управлять процессом даже при выходе из строя остальных систем;
- прикладные функции каждого модуля задаются и модифицируются независимо, что приводит к упрощению отладки системы и ее модернизации в течение всего жизненного цикла;
- встроенная глубокая самодиагностика модулей и диагностика состояния внешних цепей модуля.

В работу системы АСУТП вкладывается по сути «искусственный интеллект», который анализирует действия оператора, если вводимые команды оператором могут привести к нарушению работы системы, то данные команды выполняться системой не будут.

Таким образом, на уровне АСУТП для ядерных энергетических установок создается внутренняя защищенность объекта от несанкционированных действий нарушителя.

С точки зрения ядерной безопасности основной упор должен быть сделан на максимальную реализацию в реакторах качества внутренне присущей безопасности.

Выводы

Таким образом, проведенные исследования показали, что физическая защита Плавучей атомной теплоэлектростанции «Академик Ломоносов» является сложной задачей, требующей учёта огромного количества факторов.

Эффективность её работы определяется исходя из правильно сформулированных угроз, проработанности сценариев пресечения действий нарушителя, а самое главное реализации комплексного подхода, который предусматривает объединение различных систем для решения основной задачи - создания безопасной ЯЭУ. Поскольку её безопасность складывается не только из надежной работы систем ЯЭУ, но и способности противостоять внешним угрозам природного, техногенного воздействия, «человеческого фактора».

Список литературы

1. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Основные правила учета и контроля ядерных материалов» НП-030-12 (от 09.11.2012г.).
2. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Требования к физической защите судов с ядерными реакторами, судов атомно-технологического обслуживания, судов, транспортирующих ядерные материалы, и плавучих атомных станций» НП-085-19 от 06.12.2019г.
3. Шаманов Н.П. Судовые ядерные паропроизводящие установки / Н.П.Шаманов, Н.Н.Пейч, А.Н.Дядик – Л.: Судостроение, 1990. – 368с.
4. Малышев С.П. «Развитие транспортабельных ядерных энергетических установок в рамках проекта МАГАТЭ ИНПРО» /материалы доклада «Курчатовские чтения 2013», г. Санкт-Петерург, 2013г.
5. Шемигон Н.Н. Проблемы обеспечения физической защиты атомных станций малой мощности и пути их решении / электронная библиотека «История РОСАТОМА. Атомные станции малой мощности: новое направление развития энергетики. - 2011 с.333-341. Электрон. дан.-режим доступа http://elib.biblioatom.ru/text/ atomnye-stantsii-maloy-moschnosti_2011/go,340/

References

1. Federal norms and rules in the field of use of atomic energy "Basic rules for accounting and control of nuclear materials" NP-030-12 (dated 09.11.2012).
2. Federal norms and rules in the field of the use of atomic energy "Requirements for the physical protection of ships with nuclear reactors, nuclear service ships, ships transporting nuclear materials, and floating nuclear power plants" NP-085-19 of 06.12. 2019
3. Shamanov N.P. Ship nuclear steam generating in-

stallations / N.P.Shamanov, N.N. Peich, A.N.Dyadik - L .: Sudostroenie, 1990 .-- 368 p.
4. Malyshev S.P. "Development of transportable nuclear power plants within the framework of the IAEA INPRO project" / materials of the report "Kurchatov Readings 2013", St. Petersburg, 2013.
5. Shemigon N.N. Problems of physical protection of nuclear power plants of low power and ways to solve them / electronic library “History of ROSATOM. Nuclear power plants of low power: a new direction of energy development. - 2011 p. 333-341 http://elib.biblioatom.ru/text/atomnye-stantsii-maloy-moschnosti_2011/go,340/

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 620.92

Математическое моделирование волновой электрической установки

Л.Н. Канов

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, lnkanov48@mail.ru

Статья поступила 10.02.2021 г.; после доработки 12.02.2021 г.

Аннотация

Представлена возможность математического моделирования волновой электроэнергетической установки не основе колеблющегося маятника. Для получения электроэнергии в условиях открытого моря обоснован выбор синхронного генератора на постоянных магнитах. Показано, что единичная волновая установка генерирует электроэнергию низкого качества, что объясняется нестационарным, случайным характером морского волнения. Для повышения качества электроэнергии обосновано применение нескольких волновых установок в составе волновой электростанции.

Ключевые слова: синхронный генератор, постоянные магниты, волновая электростанция, математическое моделирование, профиль волны, активная мощность, режим работы, волнение моря

Mathematical modeling of Wavy electrical plant

L.N. Kanov

Sevastopol State University, 33, Universitetskaua st., Sevastopol, 299053, Russia, lnkanov48@mail.ru

The article acted 10.02.2021 y.; after a revision 12.02.2021 y.

Abstract

Possibility of mathematical design of the wave electroenergy plant is presented with the use of hesitating pendulum. For the receipt of electric power in the conditions of high sea the choice of synchronous generator on permanent magnets is grounded. It is showed that the single wave setting generates electric power of low quality, that is explained non-stationary, casual character of marine heavy sea. For upgrading electric power quality of a few wave plants is grounded in composition wave power-station.

Keywords: synchronous generator, permanent magnets, wave electric power-station, mathematical modeling, profile of wave, active-power, work regime, heavy sea

Введение

Вода занимает большую часть поверхности Земли. В движении морской воды из-за ее большой плотности содержится много кинетической энергии. Поэтому волновая энергетика представляет перспективную отрасль возобновляемых источников энергии. В [1] приведен обзор и классификация технологий волновых преобразователей энергии. Отмечается, что большинство проектов включает непосредственную передачу энергии волн промежуточной колебательной системе.

Как отмечается в [1 – 3], технология преобразования энергии волн с маятниковым механизмом на плавучей платформе является наиболее

перспективной.

В работе [2] представлены типичные конструкции волновых преобразователей энергии с крупногабаритным маятником: адаптивный преобразователь на раздвигающихся понтонах для увеличения амплитуды колебаний; преобразователь с возможностью настройки режима; преобразователь с двумя контурами адаптации к параметрам волнения и др.

Проведенный анализ показал, что существующие конструкции преобразователей волновой энергии большой мощности с маятником встречают технологические трудности.

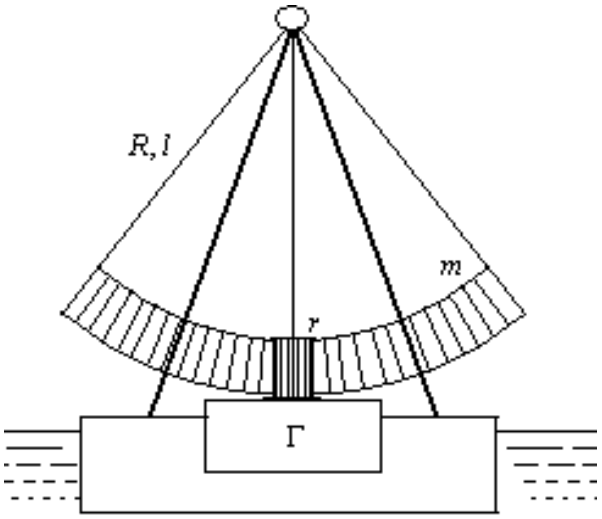


Рис.1. Маятниковый преобразователь по [2, 3]

Новый вариант преобразователя предложен севастопольскими учеными [2, 3]. В основе разработки – вертикально подвешенный маятник, упрощенная схема которого изображена на рис.1.

Маятник подвешен на плавучей платформе и имеет форму сектора окружности. Отбор механической энергии осуществляется через зубчатую передачу, расположенную у нижней кромки маятника на оси генератора [2, 3].

На этой оси установлена зубчатая шестерня, находящаяся в зацеплении с зубцами нижней полукруглой зубчатой конструкции на маятнике. При подъеме на волну или сходе с неё платформа наклоняется, и скользящая относительно генератора зубчатая полукруглая рейка через повышающий редуктор приводит генератор во вращение, рис.2.

Как отмечается в [2], актуальным в настоящее время представляется цифровое моделирование плавучей платформы на волнах и расчет режима волновой электрической установки.

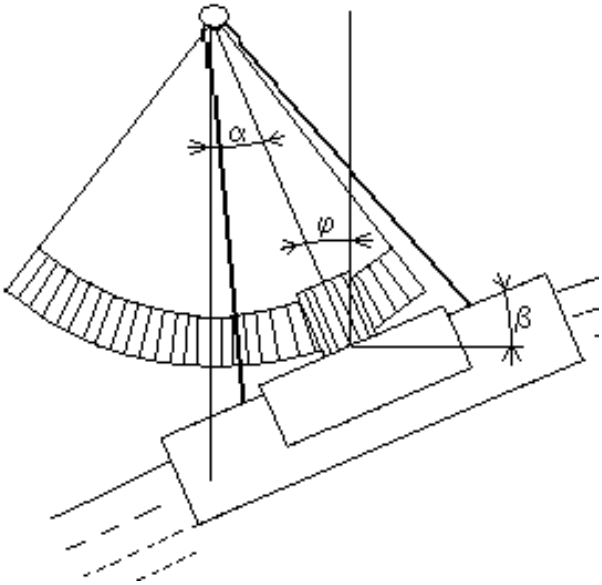


Рис.2. Подъем платформы преобразователя на волну

Цель и задачи исследования

Целью настоящей работы является математическое моделирование движения платформы маятникового преобразователя на волнах и режима работы генератора, а также оценка количества вырабатываемой электроэнергии.

Для достижения этой цели поставлены и решены следующие задачи:

- построение математической модели волновой электрической установки;
- расчет параметров волнового движения;
- определение мощности и количества вырабатываемой электроэнергии.

Математическое моделирование волновой электроустановки

Маятник находится в равновесии, когда его центральная ось расположена по силе тяжести вертикально. Тогда угол α между этой осью и перпендикуляром к поверхности платформы в точке расположения генератора – равновесный угол. Он равен углу φ между перпендикуляром к поверхности платформы и вертикальной линией силы тяжести $\alpha = \varphi$, рис.2.

При изменении профиля волны $\eta(t)$ угол φ изменяется, так как изменяется наклон платформы. Теперь углы φ и α не равны, и на маятник действует сила, пропорциональная синусу

разности углов:

$$F = mgl\sin(\varphi - \alpha),$$

где l – математическая длина маятника; m – масса маятника; g – ускорение свободного падения. Маятник стремится сохранить свое равновесное вертикальное положение и поворачивается относительно платформы: новый угол α становится снова равным новому углу φ. Таким образом, угол φ между перпендикуляром к плоскости платформы и вертикалью является возмущением, движущим воздействием колебаний маятника.

Угловая скорость Ω вращения маятника относительно оси определяется формулой $\Omega = \dfrac{d\alpha}{dt}$. Угол φ определяется профилем волны $\eta(t)$. Из рис.2 следует, что этот угол равен углу β между горизонтальным направлением и плоскостью платформы, совпадающей с касательной к профилю волны, следовательно $tg\,\varphi = tg\,\beta = \dfrac{d\eta(t)}{dt}$. Таким образом, получаем выражение для угла φ через производную профиля волны в точке расположения платформы

$$\varphi = \beta = arctg\left(\frac{d\eta(t)}{dt}\right). \qquad (1)$$

Расчет профиля волны

Для определения профиля волны применим результаты теории волн, полученные Дж.Г.Стоксом [4]. Профиль волны представляется в виде ряда слагаемых при условии, что высота волны H невелика по сравнению с ее длиной λ и глубиной воды h.

Основные параметры волны показаны на рис.3: по времени волна имеет период T и волновое число $k = \dfrac{2\pi}{\lambda}$.

Согласно [4] профиль волны имеет вид:

$$\eta = \frac{1}{k}\sum_{n=1}^{5} F_n \cos n(kx - \omega t), \qquad (2)$$

где $\omega = \dfrac{2\pi}{T}$ – круговая частота, а амплитуды слагаемых ряда определяются выражениями:

$$F_1 = a; \qquad F_2 = a^2F_{22} + a^4F_{24};$$

$$F_3 = a^3F_{33} + a^5F_{35};\ F_4 = a^4F_{44};\ F_5 = a^5F_{55}.$$

Кроме того, имеет место соотношение

$$kH = 2\left(a + a^3F_{33} + a^5(F_{35} + F_{55})\right),$$

из которого численно определяется коэффициент a. Коэффициенты F_{ij} находятся в зависимости от отношения $\dfrac{h}{\lambda}$ (табл.3.5 [4]).

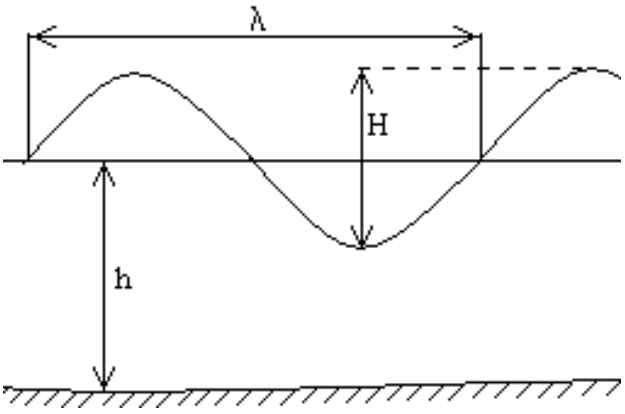


Рис.3. Основные параметры волны

Далее, в целях численного моделирования полагаем следующие типичные параметры волны:

$H = 10{,}7$ м; $T = 8{,}7$ с; $\omega = 0{,}723$ с$^{-1}$; $\lambda = 115$ м; $h = 23$ м. Тогда $\dfrac{h}{\lambda} = 0{,}2$; $k = 0{,}05$; $\dfrac{kH}{2} = 0{,}292$.

Исходя из этих числовых значений получаем:

$F_{33} = 0{,}996$; $F_{35} = 3{,}679$; $F_{55} = 1{,}734$; $F_{22} = 0{,}927$; $F_{24} = 1{,}398$

и профиль волны

$$\eta(t) = 4{,}84\cos\omega t + 1{,}32\cos 2\omega t + 0{,}44\cos 3\omega t + \ldots + 0{,}116\cos 4\omega t + 0{,}00427\cos 5\omega t,$$

рис.4. Максимальное отклонение к вершине волны 6,76 м; минимальное -3,9 м. Производная профиля по (2) имеет вид

$$\frac{d\eta(t)}{dt} = -0{,}723\begin{pmatrix} 4{,}84\sin\omega t + 2{,}64\sin 2\omega t + \\ + 1{,}32\sin 3\omega t + 0{,}464\sin 4\omega t + \\ + 0{,}2135\sin 5\omega \end{pmatrix}.$$

(3)

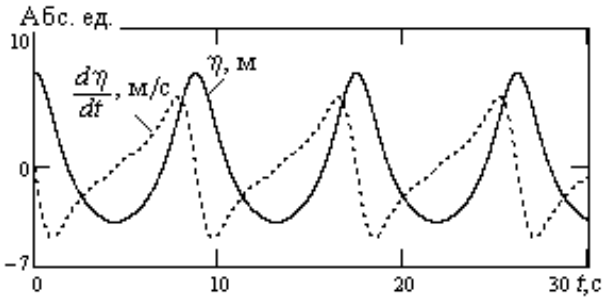


Рис.4. Профиль волны

Движение маятника

Для вращательного движения маятника под действием изменяющегося угла φ получаем

$$J\frac{d\Omega}{dt} + k_\Omega\Omega + k_\alpha\alpha + k_G\Omega = lmg\sin(\varphi - \alpha), \quad (4)$$

где J – момент инерции маятника относительно оси вращения с учетом приведенного момента инерции ротора генератора; k_Ω, k_α – коэффициенты, характеризующие момент сопротивления в зависимости от скорости вращения и угла поворота маятника; $k_G\Omega$ – момент сопротивления генератора, пропорциональный скорости вращения.

Численное решение уравнения (4) выполняется после преобразования его к системе уравнений

$$\left.\begin{aligned} &\frac{d\alpha}{dt} = \Omega; \\ &\frac{d\Omega}{dt} = J^{-1}\left(-k_G\Omega - k_\alpha\alpha - k_\Omega\Omega + lmg\sin(\varphi - \alpha)\right). \end{aligned}\right\} \quad (5)$$

Расчет выполнен при следующих численных значениях: $J = 1{,}35\cdot10^5$ кг·м^2; $k_\Omega = 2{,}32\cdot10^4$; $k_\alpha = 8{,}1\cdot10^4$; $l = 15$ м; $m = 500$ кг. Момент сопротивления генератора $k_G\Omega$ зависит от вырабатываемой мощности и скорости. Графики углов α, φ и скорости вращения маятника Ω изображены на рис.5.

Упрощенная электрическая схема волновой электроустановки, работающей на шину постоянного напряжения U, изображена на рис.6. Маятник через повышающий редуктор приводит во вращение ротор генератора со скоростью $\Omega_0 = k_{peo}\Omega$. В настоящее время имеется несколько типов генераторов, пригодных для применения на волновых электроустановках: генераторы постоянного тока; синхронные генераторы с электромагнитным возбуждением [5]; асинхронные генераторы [6], синхронные генераторы с возбуждением от постоянных магнитов (СГПМ) [7].

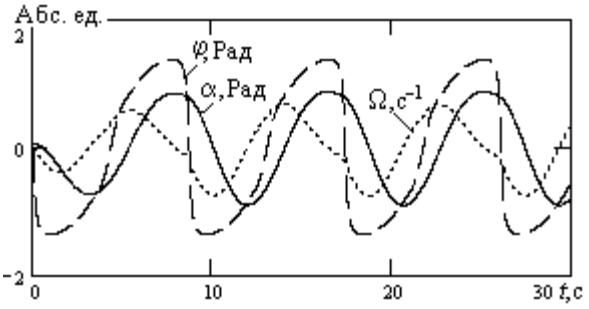


Рис.5. Графики зависимостей углов и скорости от времени

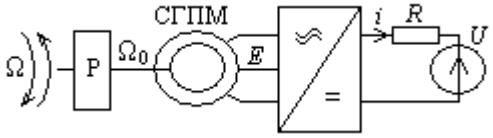


Рис.6. Блок-схема волновой электроустановки

СГПМ имеют ряд преимуществ при использовании их в условиях открытого моря: высокая надежность, простота конструкции и обслуживания, связанная с отсутствием скользящих контактов; автономность, так как не требуется постоянный ток возбуждения, меньший нагрев из-за отсутствия потерь на возбуждение. Поэтому расчет режима выполним с применением генератора на постоянных магнитах мощностью 30 кВт; напряжением 127 В; номинальной скоростью вращения $n = 75$ об/мин.

Так как собственная динамика СГПМ по сравнению с инерционностью маятника мала, для описания СГПМ применим алгебраические уравнения во вращающихся ортогональных dq - координатах с опережающим вращением поперечной оси

$$\left.\begin{aligned} &u_d + R_c i_d - L_q i_q \Omega_0 p = 0; \\ &u_q + R_c i_q + L_d i_d \Omega_0 p + M_{md} I_M \Omega_0 p = 0. \end{aligned}\right\} \quad (6)$$

В этих уравнениях u_d, u_q, i_d, i_q – продольная и поперечная составляющая напряжений и токов обмоток статора генератора; L_d, L_q – индуктивности обмотки статора вдоль продольной и поперечной оси; $M_{md} I_M$ – потокосцепление постоянных магнитов; p – число пар полюсов; Ω_0 – угловая скорость вращения ротора генератора. Далее полагаем $u_d = 0$.

Последнее уравнение во втором уравнении (6) представляет ЭДС генератора

$E = M_{md} I_M \Omega_0 p$, где $\Omega_0 p = k_{ред} \Omega p$ – частота напряжения генератора; $k_{ред}$ – коэффициент передачи редуктора. Из рис.5 следует, что если при малой скорости вращения ЭДС по абсолютной величине будет меньше напряжения на шине: $\left|\frac{E}{k_e}\right| < U$, диоды выпрямителя будут закрыты, и ток генератора равен нулю. Если $\left|\frac{E}{k_e}\right| > U$, то составляющие тока генератора по (6) определяются следующим образом

$$i_d = \frac{\left|\frac{E}{k_e}\right| - U}{R_C^2 + L_d L_q (\Omega_0 p)^2} L_q \Omega_0 p;$$

$$i_q = \frac{\left|\frac{E}{k_e}\right| - U}{R_C^2 + L_d L_q (\Omega_0 p)^2} R_C,$$

и ток, подающийся на шины постоянного напряжения, имеет вид

при $\left|\frac{E}{k_e}\right| < U \quad i = 0$, иначе

$$i = \frac{\left|\frac{E}{k_e}\right| - U}{R_C^2 + L_d L_q (\Omega_0 p)^2} \sqrt{R_C^2 + (L_q \Omega_0 p)^2}; \qquad (7)$$

В этих формулах R_C представляет сумму сопротивления фазы обмотки статора и сопротивления арматуры шины постоянного напряжения; k_e – коэффициент, учитывающий влияние трехфазного двухполупериодного выпрямителя $k_e = 0{,}43$ [7].

Мощность, передаваемая от генератора на шины постоянного напряжения, определяется произведением $P = iU$, а количество передаваемой электроэнергии дает интеграл $W = \int_0^t P(\tau) d\tau$. Поэтому для подсчета энергии к уравнениям (5) следует добавить уравнение

$$\frac{dW}{dt} = iU. \qquad (8)$$

Таким образом, уравнения (5), (8) вместе с соотношениями (1) – (3), (7) представляют математическую модель волновой электрической установки.

Расчет режима волновой электрической установки

Электромагнитный момент генератора оценим в номинальном режиме из выражения $P = M_{ЭМ} \Omega_{0\,н}$, откуда $M_{ЭМ} = 3822$ Н·м. Здесь $\Omega_{0\,н} = \frac{n_{ном}\, 2\pi}{60} = 7{,}85$ с$^{-1}$. Для момента на валу маятника получаем $M_{ЭМ} \cdot k_{ред} = 44{,}7$ кН·м. Полагем, что скорость вращения маятника соответствует номинальной скорости генератора $\Omega_{ном} = \frac{\Omega_{0\,н}}{k_{ред}} = 0{,}66$ с$^{-1}$ при $k_{ред} = 11{,}7$. Находим удельный момент сопротивления на валу маятника от генератора $k_G = \frac{M_{ЭМ} k_{ред}}{\Omega_{ном}} = 67{,}8$ кН·м·с. Далее, согласно [8] полагаем $R_C = 0{,}4$ Ом; $L_d = 6$ мГн; $L_q = 5{,}9$ мГн; $M_{md} I_M = 0{,}475$ Вб.

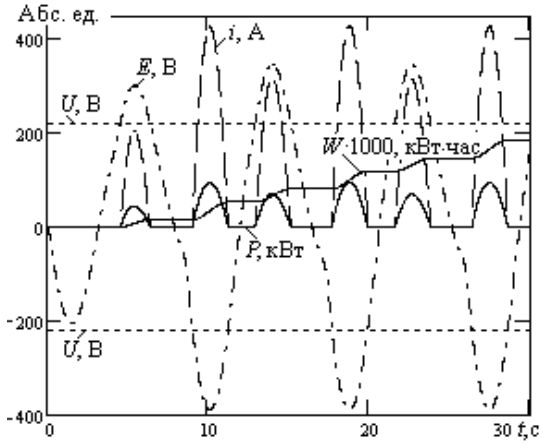


Рис.7. Параметры режима волновой электроустановки

На рис.7 изображены графики ЭДС генератора, тока, мощности и энергии, передаваемых на шины постоянного напряжения. Для наглядности график количества энергии показан увеличенным в 10^3 раз. Согласно рис.7 ток и мощность имеют периодический характер. Амплитуда тока достигает 400 А, мощности – 35 кВт. В течение трети наблюдаемого времени электроэнергия от генератора не поступает, так как из-за снижения скорости вращения маятника в точках наибольшего отклонения и смены её знака ЭДС невелика и меньше напряжения U на шинах.

Способом преодоления этой нежелательной

особенности является установка нескольких подобных волновых установок в различных точках акватории, так как мгновенная скорость волн с большой вероятностью в этих точках будет различной.

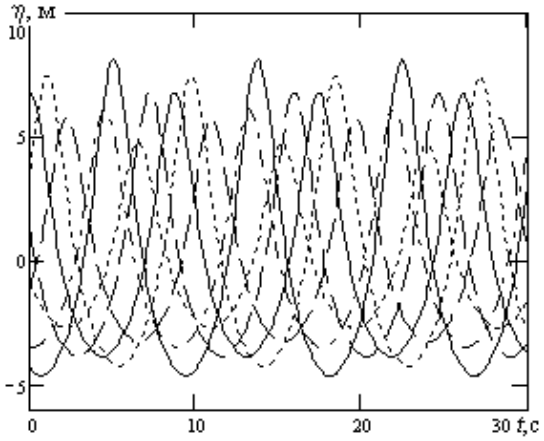


Рис.8. Характер волнения в различных точках акватории

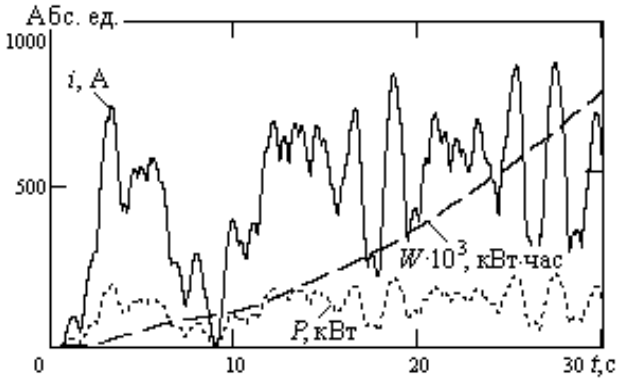


Рис.9. Параметры режима мультиволновой электростанции

На рис.8, 9 показан результат моделирования работы мультиволновой электростанции, состоящей из семи установок в несколько отличающихся условиях волнения, рис.8. На рис.9 изображены графики общего тока генераторов и суммарной энергии, передаваемых на шины постоянного напряжения. Рисунок показывает, что ток и мощность поступают практически непрерывно, и за 30 с передается 0,75 кВт·час электроэнергии. Для уменьшения колебаний тока и мощности следует увеличивать количество волновых установок.

Заключение

В статье представлена возможность математического моделирования волновой электроэнергетической установки с использованием колеблющегося маятника. Для получения электроэнергии в условиях открытого моря обоснован выбор синхронного генератора на постоянных магнитах.

Показано, что рассмотренная единичная волновая установка генерирует электроэнергию низкого качества, что объясняется нестационарным, случайным характером морского волнения. Для повышения качества электроэнергии обосновано применение нескольких волновых установок в составе волновой электростанции.

Перспективным направлением исследований в области волновых электроустановок является разработка электронной системы управления генераторами для снижения колебаний уровня генерируемой электроэнергии.

Список литературы

1. Чебоксаров В.В. Сравнительный анализ эффективности двух схем маятниковых преобразователей энергии волн / В.В.Чебоксаров // Научный журнал «Энергетические установки и технологии».– 2016.– Т.2. №1. – С.68-75.
2. Чебоксаров В.В. К вопросу о создании маятниковых волновых энергоустановок большой мощности / В.В.Чебоксаров // Научный журнал «Энергетические установки и технологии».– 2016.– Т.2. №4. – С.69-76.
3. Чебоксаров В.В. Выбор оборудования плавучих волновых энергоустановок / В.В.Чебоксаров, И.А.Кочетов // Научный журнал «Энергетические установки и технологии».– 2020.– Т.6. №2. – С.58-63.
4. Доусон Т. Проектирование сооружений морского шельфа / Т.Доусон. – Л.: изд-во «Судостроение», 1986. – 288 с.
5. Олейников А.М. Судовые электрические машины / А.М.Олейников, В.Н.Мартынов. – Севастополь: изд-во СевГУ, 2009. – 316 с.
6. Торопцев Н.Д. Асинхронные генераторы автономных систем / Н.Д.Торопцев. – М.: изд-во «Знак», 2017. – 288 с.
7. Ледовский А.Н. Электрические машины с высококоэрцитивными постоянными магнитами / А.Н.Ледовский. – М.: Энергоиздат, 1985. – 168 с.
8. Олейников А.М. Инженерная методика оптимизационного расчета тихоходного синхронного генератора с постоянными магнитами / А.М.Олейников, Л.Н.Канов, Е.И.Зарицкая // Вестник СевГТУ. Вып.88: Механика, энергетика, экология: сб.науч.тр. – Севастополь: изд-во СевГТУ. – 2008. С.104-107.

References

1. Cheboxarov V.V. *Sravnitelnyi analiz effektivnosti dvuh shem mayatnikovyh preobrazovatelei energii voln* [Comparative Analysis of Efficiency of Two

schematics of Pendulum-Type Wave energy converters]. Nauchnyi gurnal Energeticheskie ustanovki i tekhnologii/. – 2016. Vol.2, No.1. – PP.68-75.

2. Cheboxarov V.V. *K voprosu o sozdanii mayatnikovyh volnovykh energoustanovok bolshoi moshhosti* [On Development of High Capacity Pendulum-Type Wave energy converters]. Nauchnyi gurnal Energeticheskie ustanovki i tekhnologii/. – 2016. Vol.2, No.4. – PP.69-76.
3. Cheboxarov V.V., Kochetov I.A. *Vybor oborudovaniya plavuchikh volnovykh energoustanovok* [Selection of equipment of Floating wave power plants]. Nauchnyi gurnal Energeticheskie ustanovki i tekhnologii/. – 2020. Vol.6, No.2. – PP.58-63.
4. Douson T. *Priektirovanie sooruzgenii morskogo shelfa* [Projecting of Marine shelf engineering]. Leningrad: Izd. “Shipbuilding”, 1986. – 288 p.
5. Oleinikov A.M., Martynov V.N. *Sudovye elektricheskie mashiny* [Ship electric machines]. Sevastopol: Izd. SevGU, 2009. – 316 p.
6. Toroptsev N.D. *Asinkhronnye generatory avtonomnykh system* [Asynchronous generators of the autonomous systems]. Moscow: Izd. “Sign”, 2017. – 288 p.
7. Ledovskii A.N. *Elektricheskie mdshinys vysokokoerctitivnym ipostoyannymi magnitami* [Electric machines with Highcoercive permanent magnets]. Moscow: Izd. “EnergoIzdat”, 1985. – 168 p.
8. Oleinikov A.M., Kanov L.N., Zaritckaya E.I. *Indzgenernaya metodika optimizatcionnogo rastcheta tikhokhodnogo sinkhronnogo generatora s postoyannymi magnitami* [Vestn. SevGU. №10: Mechanics, energy, ecology: science – techn. collection. – Sevastopol: Izd. SevGTU. – 2008. PP.104-107.

УДК 620.9:33

Анализ перспектив развития солнечной электроэнергетики в Российской Федерации

В.В. Смирнов[1], Н.А. Яковенко[2], А.Р. Богдан[3]
[1,2]ФГАУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33, г. Севастополь, 299053, Россия.
[3]ФГАУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина», Рабфаковская, 34, г. Иваново, 153003, Россия.
[1]svadick@mail.ru,[2]nik777fort@yandex.ru,[3]alexey.bogdan98@gmail.com

Статья поступила 24.02.2021 г.; после доработки 26.02.2021 г.

Аннотация
В энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2030 года обозначены новые горизонты планирования по возобновляемой электроэнергетике, в том числе солнечной, отмечена необходимость создания российских аналогов способных конкурировать с ведущими мировыми компания в этой сфере. Также затрагивается тема микрогенерации и её стимулирования. В связи с чем, в статье рассмотрены основные достоинства и недостатки солнечной электроэнергетики, перспективном виде генерации в ВИЭ, и перспективы развития его в России.

Ключевые слова: электроэнергетика, солнечные электростанции, показатели энергоэффективности, перспективы развития солнечной энергетики в России..

Analysis of the prospects for the development of solar power in the Russian Federation

V.V. Smirnov [1] , N.A. Iakovenko [2], A.R. Bogdan [3]
[1,2]FAEI HE «Sevastopol State University», 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia.
FGAU VO "Ivanovo State Power Engineering UniversityV. I. Lenin", Rabfakovskaya st., 34, Ivanovo, 153003, Russia.
[1]svadick@mail.ru,[2]nik777fort@yandex.ru,[3]alexey.bogdan98@gmail.com

Received 24.02.2021 y.; received in final form 26.02.2021 y

Annotation
The energy strategy of the Russian Federation for the period up to 2030 outlines new planning horizons for renewable electric power, including solar, the need to create Russian analogues that can compete with the world's leading companies in this area is noted. The topic of microgeneration and its stimulation is also touched upon. In this connection, the article discusses the main advantages and disadvantages of solar power, a promising form of generation in renewable energy sources, and the prospects for its development in Russia.

Key words: electric power industry, solar power plants, energy efficiency indicators, prospects for the development of solar energy in Russia.

Введение

Для преобразования энергии солнца в электрическую используются фотоэлектрические элементы. Данные элементы представляют собой полупроводники на основе кремния, вырабатывающие под действием солнца постоянный электрический ток.

По технологии изготовления фотоэлектрические элементы подразделяются на:

- Многослойные – наиболее эффективные с точки зрения преобразования энергии

(КПД реальных установок 32%). Являются самыми дорогими в производстве.

- Монокристаллические – наиболее популярные и имеют высокий КПД по преобразованию солнечной энергии до 22%. Цена несколько выше, чем у поликристаллических, что связано с дорогостоящим процессом изготовления;
- Поликристаллические – КПД до 18%, стоят дешевле и имеют самую низкую стоимость получения ватта электроэнергии;
- Аморфные – производство данных элементов проще, в результате цена ниже, однако КПД не превышает 6%.

Постановка цели научного исследования

Целью данной работы является анализ экономических показателей работы солнечных электростанций и рассмотрение перспектив развития солнечной энергетики на территории Российской Федерации в сравнении с другими возобновляемыми источниками.

Достоинства солнечной энергетики

Во-первых, не требует подключения к центральной энергосети. Установив солнечную электростанцию, вы становитесь абсолютно независимым от внешних источников электричества. В основном это актуально для небольших хозяйств и частных домов.

У поставщика электроэнергии могут быть плановые отключения, неполадки, обрывы линии или повышение тарифов. Вы сами регулируете своё энергопотребление и с учетом этого выбираете время питания от общей энергосистемы.

Во-вторых, долговечность. Срок эксплуатации солнечной электростанция (СЭС) около 20-25 лет. При этом ее работоспособность вполне сохраняется и после истечения срока: со временем могут планомерно ухудшаться некоторые показатели.

В-третьих, стабильность уровня напряжения и постоянство питания. Это обеспечивается аккумуляторной батареей, без которой эксплуатация СЭС затрудняется в виду непостоянства вырабатываемой мощности.

Такой подход исключает электрические всплески и повышает электробезопасность приборов, находящихся в ждущем режиме [1].

Существующие проблемы

Перечисленные преимущества в массе своей актуальны для небольших фермерских хозяйств и частных домов. Если говорить об эксплуатации СЭС промышленного масштаба, то здесь не все так однозначно.

Это связано с тем, что с начала 2000-х годов развертывание солнечных фотоэлектрических установок в странах запада росло беспрецедентными темпами. По мере роста мирового рынка фотоэлектрических панелей к началу 2030-х годов ожидается увеличение объема снятых с эксплуатации фотоэлектрических панелей (рис. 1, 2), а также большого количества ежегодных отходов. Большие объемы отходов фотоэлектрических панелей представляет собой новую экологическую проблему, но также открывает беспрецедентные возможности для создания ценности и поиска новых экономических возможностей.



Рис. 1. Прогнозируемые мировые отходы.

В связи с чем в 2016 году была опубликована работа, подготовленная Международным энергетическим агентством и Международным агентством возобновляемой энергетики, в которой подробно описываются технологии и стратегии утилизации фотоэлектрических модулей [2].

Европейский союз (ЕС) первым ввёл правила утилизации отходов солнечных электростанций – модули должны утилизироваться в соответствии с Директивой об отходах электрического и электронного оборудования (WEEE) (2012/19/EU) [3]. С 2012 года положения Директивы WEEE были включены в национальное законодательство странами-членами ЕС, создав первый рынок, на котором переработка солнечных модулей обязательна.

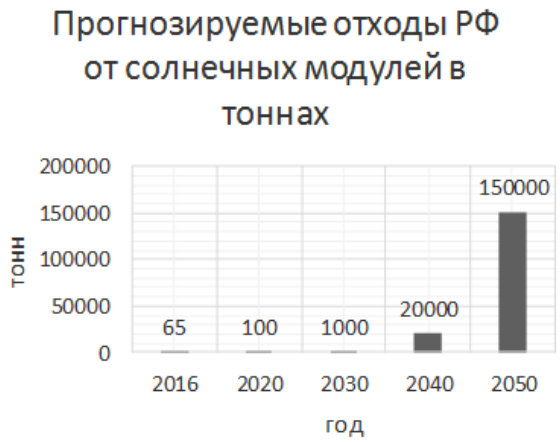


Рис. 2. Прогнозируемые отходы в РФ.

На международном уровне принят стандарт NSF 457 — Sustainability Leadership of Photovoltaic Modules, который также освещает стратегию управления данными изделиями по окончанию срока годности [4]. Из солнечных панелей уже сегодня при переработке извлекается до 65-70% материалов для повторного использования. При этом, на уровне ЕС приняты дополнительные стандарты EN50625-2-4 и TS50625-3-5 с целью освещения различных административных, организационных и технических требований при утилизации панелей.

В Российской Федерации, как и во многих других странах, пока не разработано особых требований к утилизации солнечных панелей, поэтому утилизация проходит по категории электронные и электротехнические отходы.

На данном этапе ключевым является вопрос развития правильной утилизации такого вида отхода, чтобы большая часть материалов солнечной панели шли для повторного использования, а не сжигались или хоронились. В этой связи необходимо развитие промышленного комплекса, задействованного в этой сфере. Поскольку на данный момент в России функционирует единственный комплекс по переработке электронных отходов.

Таким образом, глобальной проблемы в переработке солнечных панелей нет. В мире уже разработаны технологии правильной утилизации такого рода отходов, при которой до 70% отходов может использоваться повторно в солнечных панелях и других отраслях энергетики и не только. Беспокойство вызывают темпы развития перерабатывающей промышленности неуспевающей за темпами роста электротехнических отходов, и культура сортировки мусора в России, что может привести к возникновению гор опасных отходов на просторах нашей страны.

Общий анализ факторов в пользу развития в России солнечной энергетики

Сравним занимаемую (а точнее изымаемую из хозяйственного оборота) площадь земельных угодий в сравнении с другими источниками генерации К примеру, СЭС «Николаевка» расположенная территориально в Республике Крым занимает площадь равную 116 га при установленной мощности в 69,7 МВт. В перерасчете на Вт/м, при полной загруженности, получим – 60,1 Вт/м2, к примеру, для Таврической ТЭС эта величина составляет 1465,54 Вт/м2, однако, это эффективней чем при строительстве Красноярской ГЭС, для эксплуатации которой было затоплено около 2000 квадратных километров и энергоэффективность составила – 3 Вт/м2, для Саяно-Шушенской ГЭС – 35,95 (17,98) Вт/м2, Чиркейской ГЭС – 32,89 Вт/м2, Нижнекамской ГЭС – 1,55 Вт/м2. Понимаем, что СЭС по энергоэффективности использования земли не может конкурировать с ТЭС, однако по этому показателю солнечные электростанции имеют преимущество по сравнению с рядом источников генерации, например, с уже традиционно используемыми в Российской Федерации. Интересно будет сравнение среди ВИЭ, но уже для годовой выработки электроэнергии кВт·ч к занимаемой площади. Получим ещё более интересные цифры. Так для СЭС «Перово» - 66,25 кВт·ч/м2, для Красноярской ГЭС – 9,175 кВт·ч/м2, Саяно-Шушенской ГЭС – 66,01 кВт·ч/м2, СЭС «Родниковое» - 64,55 кВт·ч/м2, Сакской ВЭС – 7,87 кВт·ч/м2, Мутновской ГеоЭС – 3787,9 кВт·ч/м2.

По полученным данным можно сделать вывод о том, что среди возобновляемых источников энергии солнечные электростанции по энергоэффективности использования земельных ресурсов занимают лидирующие позиции. В России СЭС должны иметь преимущество в энергоизолированных районах с большим количеством солнечных дней в году, высоким уровнем солнечной радиации, низкой стоимостью земли и равнинным рельефом, одним из таких регионов является Республика Саха (Якутия).

Рассмотрим очень важный вопрос окупаемости. В экономическом отношении СЭС является долгоокупающимся проектом, по данным института энергетики НИУ ВШЭ и ряда других исследований, проведенных международным агентство возобновляемой энергетики, срок окупаемости такого проекта находится на

уровне 15-20 лет при нормальном сроке эксплуатации солнечных электрических панелей в 25-30 лет. Однако, стоит сказать, что за последнее десятилетие стоимость производства солнечных электрических панелей снизилась на 90% [5], что непосредственно отразилось на конечном потребителе. Также, ожидается, что к 2030 году стоимость СЭС снизится ещё на 15-30%. И, стоит отметить, что измерения, проведенные на реально работающих с 1980 годов модулей показывают, что их выработка уменьшилась не более, чем на 10%, что подчеркивает их допустимую энергоэффективность в процессе эксплуатации.

Что касается, так называемого «углеродного следа», то есть выбросов CO_2, то этот вопрос однозначно получает ответ в пользу солнечных электростанций. Если рассматривать использование ВИЭ на таких территориях как ЕС и США, и распространение «зеленой политики» по всему миру, то по данным исследования [6], каждый киловатт-час электроэнергии, вырабатываемый СЭС имеет эмиссионных углеродный след в 4 грамма CO_2. Если пересчитать на практическую СЭС такую как СЭС «Перово», которая в год вырабатывает 132,5 млн. кВт·ч электроэнергии, получим цифру в 795 тонн CO_2 за год, при декларируемом сокращении выбросов 105 тысяч тонн в год. В связи с этим, «углеродный след» СЭС возможно не учитывать, так как он весьма мал. Особенно, в сравнении с ГЭС, для которой расчетные показатели составляют эквивалент в 97 грамм на кВт·ч [7]. Такое количество связанно в основном с разложением биологических растений и выделением в связи с этим метана. Однако, эти исследования не учитывают количество потребляемого CO_2 водой, что оставляет почву для будущих исследований.

Основной минус СЭС - зависимость от погодных условий и времени суток. В связи с тем, что вырабатываемое электричество СЭС напрямую зависят от погодных условий и времени суток, в пасмурную погоду выработка электроэнергии солнечных панелей снижается в полтора-два раза, а в ночное время равна нулю. Как результат, днём СЭС работает не на полную мощность из-за меньшей нагрузки и ночью, в основном, простаивает. Поэтому невозможно обеспечить конечного потребителя бесперебойной электроэнергией при использовании лишь солнечных панелей без других видов генерации электроэнергии и накопителей. Это является ощутимым минусом использования СЭС как доминирующего вида генерации электроэнергии в будущем. Однако, и наука не стоит на месте, особенно в смежной области к СЭС – накопителей электроэнергии. Пропорционально снижению себестоимости солнечных панелей снижается и стоимость накопителей электроэнергии, в частности аккумуляторных батарей. Этому способствует и крутой разворот в сторону гибридных и полностью электрических автомобилей, где аккумуляторные батареи играют ключевую роль. Уже сегодня у наших западных коллег вводятся крупномасштабные системы накопителей электроэнергии. К примеру, во Франции, где СЭС занимают 4% всего рынка электроэнергетики, электросетевая компания RTE работает над реализацией пилотного проекта RINGO, целью которого является установка крупномасштабных накопителей электроэнергии суммарной энергоемкостью 72 МВт·ч [8]. Она уже сегодня вводит в эксплуатацию систему накопления электроэнергии (СНЭЭ) на базе литий-ионных батарей энергоемкостью 25 МВт·ч с целью обеспечения надежного электроснабжения в регионе [9]. Итальянский системный оператор Terna заключил контракты на строительство СНЭЭ суммарной мощностью 250 МВт [10]. Предполагается, что такой шаг ускорит переход Италии к «зеленой» энергетике. Таким образом, уже в обозримом будущем зависимость конечного, в том числе промышленного, потребителя от режима работы СЭС будет снижаться, что имеет существенное влияние на распространение такого вида генерации электроэнергии.

Заключение

Солнечные электростанции – это перспектива и для микрогенерации и для промышленности, в том числе, и как инструмента по снижению цены на электроэнергию для конечного потребителя. В связи с чем развитие солнечной генерации в Российской Федерации имеет большие перспективы. Во-первых, в связи с будущей ее экономической перспективностью. Во-вторых, в связи с уменьшением в дальнейшем добычи углеводородного сырья и удорожанием его добычи. Об этом уже свидетельствует рост себестоимости добычи, начавшейся в настоящее время в Арктике. Говорить же о перспективе доминирующего положении такого вида генерации пока рано. Во-первых, нет необходимых технологий по накоплению большого количества электроэнергии в промышленных масштабах. Например, литий-ионные аккумуляторы всё ещё остаются громоздкими и дорогими. Во-вторых, стоимость электроэнергии, ге-

нерируемой СЭС в ближайшие 10-15 лет останется высокой для конечного потребителя. Однако, широкое экономическое участие промышленных гигантов в этой области способствует ускоренному темпу развития технологий и снижению их конечной стоимости. В связи с чем, Российской Федерации необходимо набирать темпы роста и предлагать новые, конкурирующие продукты в этой отрасли.

Список литературы

1. https://www.irena.org/publications/2016/Jun/End-of-life-management-Solar-Photovoltaic-Panels
2. https://www.asberg.ru/energiya/solnechnye-elektrostantsii/
3. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32012L0019
4. https://greenelectronicscouncil.org/wp-content/uploads/2019/12/NSF-457-2019.pdf
5. Nicolas Hede. Solar advantages increase even without government subsidies – study. https://www.powerengineeringint.com/renewables/solar-energy-advantages-continue-even-without-government-subsidies-study/
6. Understanding future emissions from low-carbon power systems by integration of life-cycle assessment and integrated energy modellin. Michaja Pehl, Anders Arvesen, Florian Humpenöder, Alexander Popp, Edgar G. Hertwich & Gunnar Luderer. https://www.nature.com/articles/s41560-017-0032-9
7. Greenhouse Gas Emissions from Reservoir Water Surfaces: A New Global Synthesis. Bridget R. Deemer, John A. Harrison, Siyue Li, Jake J. Beaulieu, Tonya DelSontro, Nathan Barros, José F. Bezerra-Neto, Stephen M. Powers, Marco A. dos Santos, J. Arie Vonk https://academic.oup.com/bioscience/article/66/11/949/2754271
8. Joël Spaes. Ringo project: the first battery of the largest electricity storage for the network is installed. https://www.pv-magazine.fr/2020/10/06/projet-ringo-la-premiere-batterie-du-plus-gros-stockage-delectricite-en-faveur-du-reseau-est-en-place/
9. Andy Colthorpe. France’s biggest battery storage system at 25MW goes into operation. https://www.energy-storage.news/news/frances-biggest-battery-storage-system-at-25mw-goes-into-operation
10. Nicolas Hede. Italian TSO awards tenders for battery energy storage development. https://www.powerengineeringint.com/smart-grid-td/energy-storage/italian-tso-awards-tenders-for-battery-energy-storage-development/
11. Безруких П.П. Эффективность возобновляемой энергетики. Мифы и факты // Вестник аграрной науки Дона, № 29 / том 1 / 2015
12. Малюгина А.А. «Оценка энергетической эффективности возобновляемой энергетики» / Кирпичникова И.М., Малюгина А.А.// Наука ЮУрГУ [Электронный ресурс]: материалы 67-й научной конференции. Секции технических наук – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 29 апреля 2015, с. 1137-1142.

References

1. https://www.irena.org/publications/2016/Jun/End-of-life-management-Solar-Photovoltaic-Panels
2. https://www.asberg.ru/energiya/solnechnye-elektrostantsii/
3. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32012L0019
4. https://greenelectronicscouncil.org/wp-content/uploads/2019/12/NSF-457-2019.pdf
5. Nicolas Hede. Solar advantages increase even without government subsidies – study. https://www.powerengineeringint.com/renewables/solar-energy-advantages-continue-even-without-government-subsidies-study/
6. Understanding future emissions from low-carbon power systems by integration of life-cycle assessment and integrated energy modellin. Michaja Pehl, Anders Arvesen, Florian Humpenöder, Alexander Popp, Edgar G. Hertwich & Gunnar Luderer. https://www.nature.com/articles/s41560-017-0032-9
7. Greenhouse Gas Emissions from Reservoir Water Surfaces: A New Global Synthesis. Bridget R. Deemer, John A. Harrison, Siyue Li, Jake J. Beaulieu, Tonya DelSontro, Nathan Barros, José F. Bezerra-Neto, Stephen M. Powers, Marco A. dos Santos, J. Arie Vonk https://academic.oup.com/bioscience/article/66/11/949/2754271
8. Joël Spaes. Ringo project: the first battery of the largest electricity storage for the network is installed. https://www.pv-magazine.fr/2020/10/06/projet-ringo-lapremiere-batterie-du-plus-gros-stockage-delectricite-en-faveur-du-reseau-est-en-place/
9. Andy Colthorpe. France’s biggest battery storage system at 25MW goes into operation. https://www.energy-storage.news/news/frances-biggest-battery-storage-system-at-25mw-goes-into-operation
10. Nicolas Hede. Italian TSO awards tenders for battery energy storage development. https://www.powerengineeringint.com/smart-grid-td/energy-storage/italian-tso-awards-tenders-for-battery-energy-storage-development/
11. Bezrukikh P.P. Renewable energy efficiency. Myths and facts // Bulletin of Agrarian Science of the Don, № 29 / volume 1/2015.
12. Malyugina A.A. "Assessment of the energy efficiency of renewable energy" / Kirpichnikova IM, Malyugina AA // Science of SUSU [Electronic resource]: materials of the 67th scientific conference. Sections of technical sciences - Chelyabinsk: SUSU Publishing Center, April 29, 2015, p. 1137-1142.

УДК 621.31

Исследование комплексных сдвигов электромагнитных структур системы беспроводной передачи энергии

И.Б. Широков [1], А.А. Азаров[2], И.В. Сердюк[3], Е.И. Широкова[4]
[1,2,3,4]*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул.Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, shirokov@ieee.org, azarov@ieee.org, serdyuk@ieee.org, shirokova@ieee.org*

Статья поступила 10.02.2021 г.; после доработки 12.02.2021 г.

Аннотация

В статье представлены исследования комплексных сдвигов электромагнитных структур друг относительно друга в системе беспроводной передачи энергии. Приводятся комплексные исследования офсетных и радиальных сдвигов микрополосковых линий. Результаты исследований показали, что при используемой конфигурации электромагнитных структур, подобного рода сдвиги оказывают значительные влияние лишь на расстояниях более 10мм.

Ключевые слова: подзарядка, беспроводная, система передачи энергии, аккумуляторная батарея, автономный электротранспорт, безопасность, умный город.

Investigation of complex shifts of electromagnetic structures of a wireless power transmission system

I.B. Shirokov [1], A.A. Azarov [2] I.V. Serdyuk [3], E.I. Shirokova[4]
[1,2,3,4]*FSAEE HE "Sevastopol State University", Universitetskaya str., 33, Sevastopol, 299053, Russia, shirokov@ieee.org, azarov@ieee.org, serdyuk@ieee.org, shirokova@ieee.org*

Received 10.02.2021 y.; received in final form 12.02.2021 y.

Abstract

The article presents studies of complex shifts of electromagnetic structures relative to each other in a wireless power transmission system. Comprehensive studies of offset and radial shifts of microstrip lines are presented. The research results showed that with the used configuration of electromagnetic structures, such shifts have a significant effect only at distances of more than 10 mm.

Keywords: recharging, wireless, power transmission system, rechargeable battery, autonomous electric transport, security, smart city.

Введение

Актуальность и перспективность исследований, связанных с системами беспроводной передачей электрической энергии, является всё более актуальной. Данный факт является следствием того, что в мире с каждым днём становится всё больше электрических систем, имеющих в своём комплекте аккумуляторные батареи и требующих периодической подзарядки. Система беспроводной передачи энергии, функционирующая на основании двух микрополосковых структур описана ранее в [1]. Основным блоком исследований описанной системы являются фрагменты направленных ответвителей, функцию которых выполняют микрополосковые структуры. Моделирование и экспериментальные исследования данной системы продемонстрировали работоспособность, качество и высокую эффективность предложенной системы в [2]. Отдельный блок исследований проводился для определения гибкости-универсальности, а также масштабируемости системы [3], в результате чего, было показано, что система является полностью масштабируемой и может применять на существенных, относительно существующих методов передачи энер-

гии, расстояниях как для подзарядки аккумуляторных батарей компактных устройств – телефонов, ноутбуков и домашней техники, так и для крупногабаритной техники, вплоть до подзарядки аккумуляторных батарей автономного электротранспорта, для которого требуется передача высокочастотной энергии мощностью порядка киловатт. Актуальными среди всех прочих являются исследования, связанные с развитием методов беспроводной передачи энергии именно повышенной мощности.

Постановка задачи

Исходя из сказанного выше, можно сделать вывод о том, что системы беспроводной передачи энергии набирают всё большую популярность, а эффективность имеющихся технологий ограничена для реализации полевой установки. Таким образом, в пределах данной работы ставится задача в проведении исследований существующей системы, которая может быть использована в полевых условиях. Исследования связаны с моделированием комплексных сдвигов (офсетных и радиальных), а также определением изменения коэффициента передачи при наличии данных сдвигов.

Основная часть

В проводимых ранее исследованиях по разработке системы беспроводной передачи энергии применялись микрополосковые линии, которые скручивались в спирали для большей компактности. Для передачи мощностей более одного киловатта, конфигурация электромагнитных структур соответствовала представленной на таблице 1. Из таблицы можно сделать вывод о том, что система беспроводной передачи энергии, предлагаемая в рамках данной работы является достаточно экономически не дорогой, ведь материалы, применяемые для её реализации являются общедоступными, а также система является достаточно компактной, учитывая порядок мощностей, на передачу которых, она рассчитана.

Основные исследования проводились на ориентациях, показанных на рисунке 1, при больших значениях сдвигов, а также при различных расстояниях между структурами. На данном рисунке показаны конфигурации сдвигов структур по оси X (верхний слева), Y (верхний справа), а также вращение на 45 (нижний слева) и 90 (нижний справа) градусов. На основании проделанных исследований, были получены результаты, показанные на рисунке 2. Исходя из графиков, показанных на рисунке 2, можно сделать вывод о том, что система имеет допуски на смещения, которые оказывают незначительное влияние на эффективность процесса беспроводной передачи электрической энергии.

Проектирование системы и само моделирование проводилось в среде AWR Design Environment Microwave Office. Среди имеет обширные возможности и предоставляет ряд полезных конфигураций для проектирования, расчёта и моделирования электромагнитных структур.

В рамках данной статьи основной упор делался на комбинированный сдвиг структур друг относительно друга. Например, вариант использования системы беспроводной передачи энергии для подзарядки аккумуляторных батарей автономного электротранспорта или беспилотных летательных аппаратов. Рассмотрим вариант на примере БпЛА. При посадке, беспилотник (в данном случае мультикоптер), должен быть оснащён сверхпрецизионной системой посадки, однако никакая точность локального позиционирования не может гарантировать сверх точной посадки, по причине влияния окружающей среды (ветер, дождь), что вносит погрешности на точность состыковки электромагнитных структур. Данный аспект требует учёта в процессе разработки модели. Исходя из описанного выше, была построена конфигурация электромагнитных структур, показанная на рисунке 3. Исходя из этой конфигурации, структуры смещались уже при наличии разворота в 45 и 90 градусов. Исследования проводились при радиальном сдвиге на 45 и 90 градусов, при смещении на 5мм и 10 мм по оси X Y. Данные значения были взяты по причине того, что на практике маловероятна посадка беспилотника со сдвигом исключительно по одной оси. При этом проведение данных исследований также важны по причине объективной оценки влияния различных сдвигов на эффективность системы. Среда моделирования Microwave Office зарекомендовала себя, как среда результаты моделирования который максимально приближены к реальным (в статье [1] результаты моделирования и экспериментальных исследований полностью совпали).

Таблица 1 *Параметры структуры, необходимые для осуществления передачи электрической энергии*

Материал диэлектрика	поликарбонат
Материал проводника	медь
Ширина линии	10мм
Зазор между линиями	10мм
Площадь структур	200х200мм
Толщина диэлектрика	5мм
Толщина проводниковых линий	1 унция (0.035мм)
Материал диэлектрика	поликарбонат
Материал проводника	медь

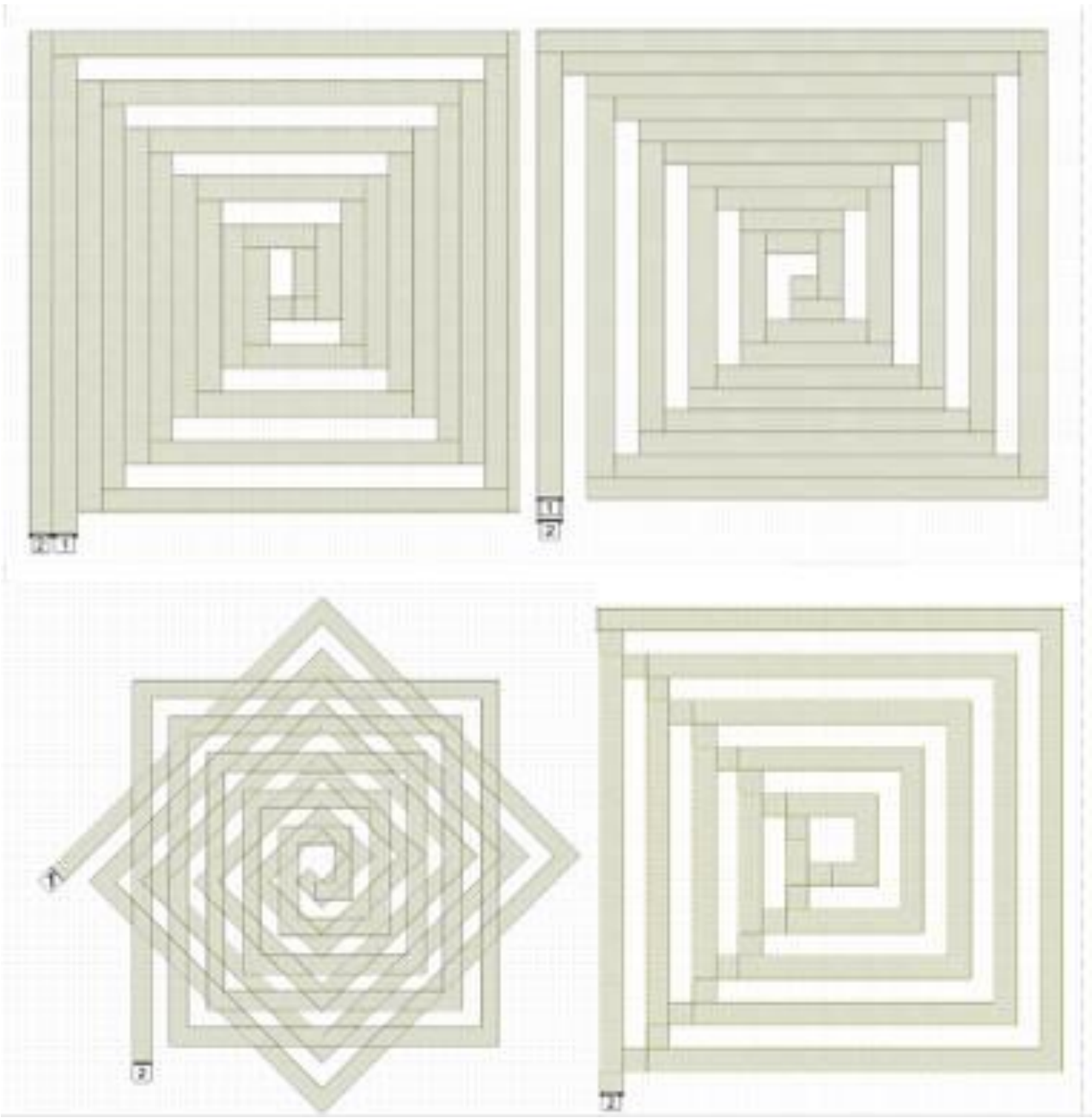


Рис. 1 Внешний вид структур наличии различного рода сдвигов

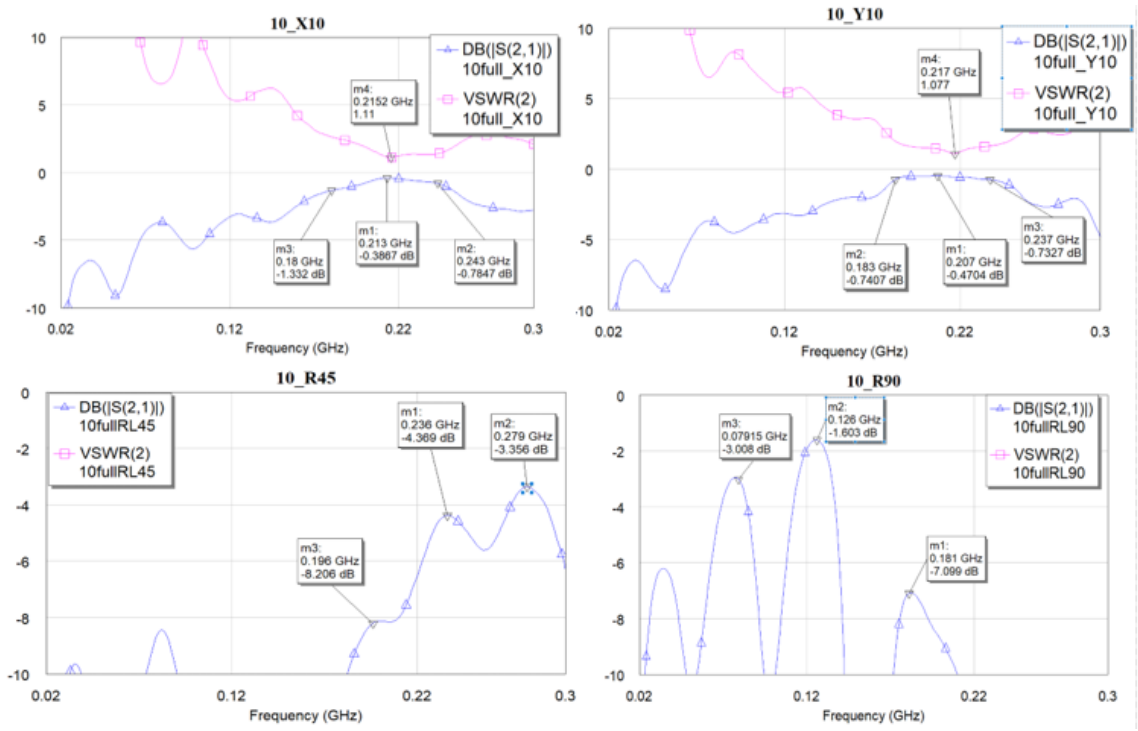


Рис. 2 Результаты исследования структур наличии различного рода сдвигов

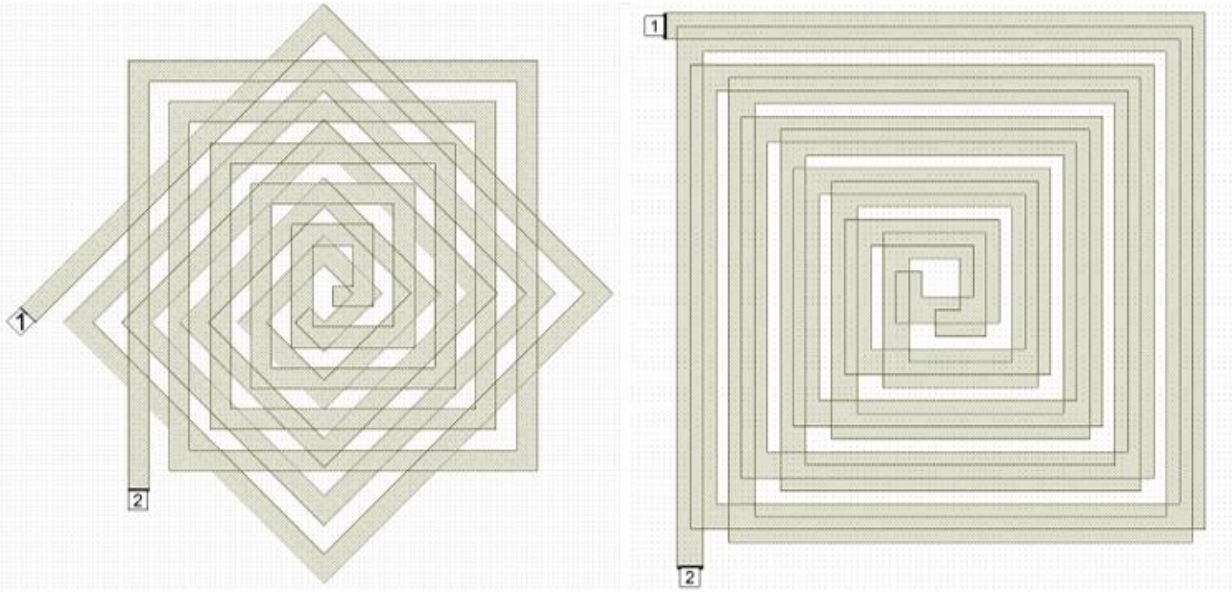


Рис. 3 Внешний вид структур при наличии комбинированных сдвигов

Результат моделирования электромагнитных структур описанной конфигурации показан на Рисунке 4. Значения частот и коэффициента передачи вынесены для удобства в таблицу 2.

На рисунке 4 в названиях графиков показаны 4 значения, где 10 – это расстояние между структурами, R и число – значение радиального сдвига структур друг относительно друга, а следующие два значения показывают офсетный сдвиг структур друг относительно друга. Все расстоянии показаны в мм. Исходя из представленных на графике значений, можно сказать, что потери, при указанной конфигурации

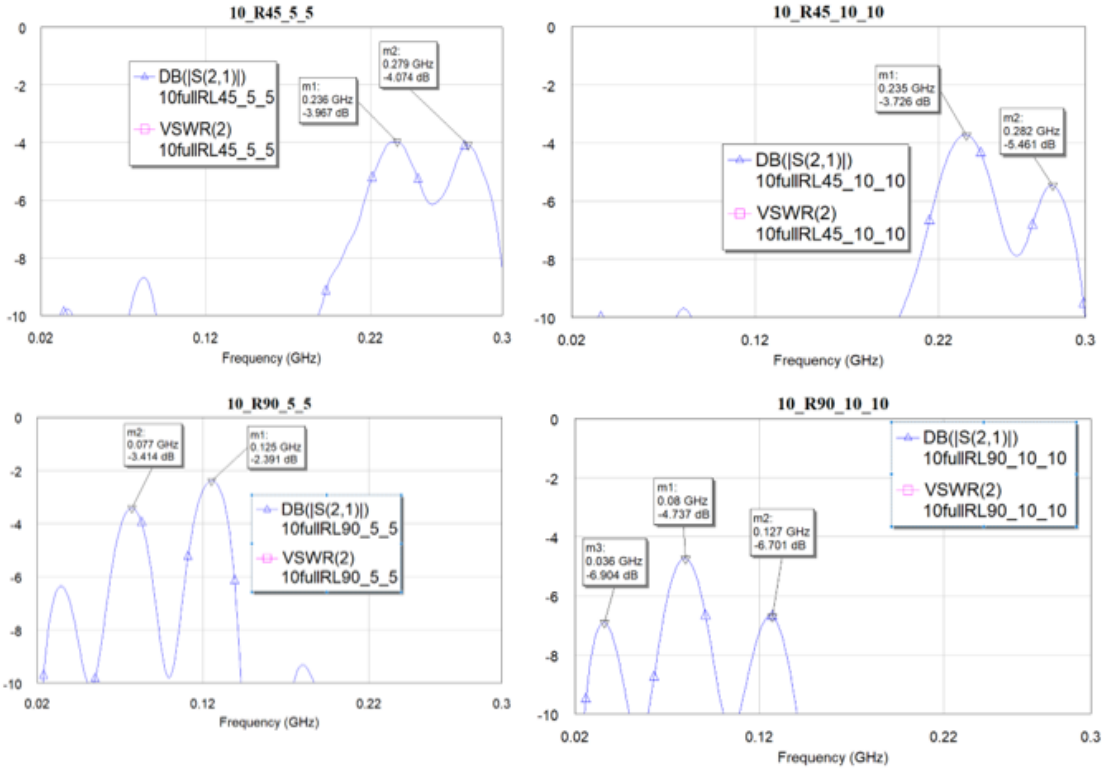


Рис. 4 Графики, полученные в результате исследования структур при наличии комбинированных сдвигов

Таблица 2 *Результаты исследования структур при наличии комбинированных сдвигов*

Параметры	**45_5_5**	**45_5_5**	**45_10_10**	**45_10_10**	**90_5_5**	**90_5_5**	**90_10_10**	**45_10_10**
Частота MHz	236	279	235	282	77	125	80	127
S21 dB	3.9	4.07	3.7	5.4	3.4	2.3	4.7	6.7

Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ и Севастопольского региона, номер проекта 20-48-920001.

Заключение

В статье представлены результаты исследований системы беспроводной передачи высокочастотной энергии с практической точки зрения. Рассмотрены случаи сдвигов электромагнитных структур, которые максимально вероятно наступят на практике. Исходя из полученных значений, можно сделать вывод о том, что система беспроводной передачи энергии, предложенная авторами, является актуальной и решает существующие задачи по подзарядке аккумуляторных батарей повышенной мощности, наличие незначительных сдвигов оказывают незначительное влияние на эффективность системы. Результаты исследований показаны в таблице 1. Также важной особенностью является значительное изменение частоты при различного рода сдвигах структур. Данный аспект требует дополнительных исследований и изучений, однако уже на донном этапе, ясно, что система требует включения автоматической подстройка частоты в зависимости от того или иного сдвига структур друг относительно друга.

Список литературы

1. И.Б. Широков «Способ беспроводной передачи высокочастотной электрической энергии», Патент № 2704602 Россия
2. Е.И. Широкова, А.А. Азаров, И.Б. Широков «Система беспроводной передачи энергии», Тр. конференции IEEE 2019 российских молодых исследователей в области электротехники и электроники (ElConRus’19), Санкт-Петербург и Москва,

Россия, 28-30 января 2019 г., С. 1065-1069.
3. Широков И.Б., Сердюк И. В., Азаров А. А., Широкова Е. И. Увеличение допусков на взаимное смещение элементов системы беспроводной передачи энергии // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2020. Т. 3, № 3. С. 277—286.

References

1. 1. I. B. Shirokov "Method of wireless transmission of high-frequency electrical energy", Patent No. 2704602 Russia
2. 2. E.I. Shirokova, A.A. Azarov, I.B. Shirokov "System of wireless energy transmission", Tr. IEEE 2019 conference of Russian young researchers in the field of electrical engineering and electronics (ElConRus'19), St. Petersburg and Moscow, Russia, January 28-30, 2019, pp. 1065-1069.
3. Shirokov IB, Serdyuk IV, Azarov AA, Shirokova EI Increase of tolerances for mutual displacement of elements of the wireless energy transmission system // Infocommunication and radioelectronic technologies. 2020. vol. 3, no. 3, pp. 277–286

НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

УДК 620.92

Потенциал развития тепловой солнечной энергетики для нужд коммунального хозяйства

Д.Ф.Бордан [1], В.В.Кувшинов [2], Е.Г. Какушина[3], А.М.Олейников [4], Гхашим М.[5]
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, [1]bordan79@mail.ru ,[2]kuvshinov.vladimir@gmail.com [3]littie@mail.ru,
[5]MGkhashim@sevsu.ru
Институт природно-технических систем, ул. Марата, 6, г. Севастополь, 299011, Россия,
[4]oma091041@gmail.com

Статья поступила 26.02.2021 г.; после доработки 01.03.2021 г.

Аннотация

Для нужд современной энергетики необходимо внедрение экологических чистых систем, не требующих использования органического топлива. Одной из таких разработок является гелиотехническая установка для прямого преобразования солнечной энергии – солнечный коллектор. Целью исследований являлось установление некоторых закономерностей при использовании тех или иных типов гелиоколлекторов с различными абсорберами. В результате было определено, что различные типы коллекторов найдут свое применение в качестве источников тепловой энергии в различных системах горячего водоснабжения или отопления обеспечения коммунальных и индивидуальных потребителей.

Ключевые слова: экологически чистые системы, органическое топливо, гелиоколлекторы с абсорберами

Potential for the development of thermal solar energy for the needs of public utilities

D.F. Bordan [1], V.V. Kuvshinov [2], E.G. Kakushina [3], A.M. Oleynikov [4], Ghashim M.[5]
Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia,
[1]bordan79@mail.ru ,[2]kuvshinov.vladimir@gmail.com [3]littie@mail.ru, [5]MGkhashim@sevsu.ru
Institute of Natural and Technical Systems, 6 Marata st., Sevastopol, 299011, Russia,
[4]oma091041@gmail.com

Received 26.02.2021 y.; received in final form 01.03.2021 y.

Abstract

For the needs of modern energy, it is necessary to introduce environmentally friendly systems that do not require the use of organic fuel. One of these developments is a solar power plant for direct conversion of solar energy-a solar collector. The purpose of the research was to establish some regularities in the use of various types of solar collectors with different absorbers. As a result, it was determined that different types of collectors will find their application as sources of thermal energy in various hot water or heating systems for municipal and individual consumers.

Keywords: eco-friendly systems, organic fuel, solar collectors with absorbers

Введение

Современная энергетика базируется в основном на использовании традиционного органического топлива, в частности природного газа, нефтепродуктов и угля. Использование этих источников энергии приводит к необратимым

негативным процессам в экологии и способствует увеличению парникового эффекта. Внедрение экологически чистой возобновляемой энергетики является одной из первостепенных современных задач мирового сообщества.

В настоящее время в ряде стран мира наблюдается бурное развитие энергетики, основанной на нетрадиционных и возобновляемых видах энергии. В частности, происходит развитие такого направления как солнечная энергетика. Многие страны Европы, США, Австралия и др. выделяют огромные средства на поддержку научной и производственной деятельности в этой области нетрадиционной энергетики.

Для нужд современной энергетики, используемой в коммунальном хозяйстве для жилищного сектора основная доля ресурсов идет на обеспечение тепловой энергией населения. Потребление электрической энергии в жилых домах для освещения и работы электронной техники составляет значительно меньшую долю, чем использование электрических мощностей для нагрева воды и обогрева помещений. Чтобы у коммунальных потребителей было достаточное количество горячей воды при отсутствии централизованных тепловых сетей необходимо использовать значительные генерирующие мощности. Замена тепловых установок, связанных с потреблением электрической энергии, устройствами, использующими другие менее энергоёмкие технологии, не связанные с потреблением органических видов топлив, является одной из задач современной науки. Одним из применений таких технологий является область альтернативной энергетики – гелиотехника.

В солнечной энергетике существует два основных направления – это фотовольтаики, используемая для выработки электрической энергии и тепловая гелиоэнергетика, которая используется для прямого преобразования потока солнечной радиации в тепловую энергию. Как раз гелиоэнергетика наиболее подходит для использования в коммунальном хозяйстве городов и районов для обеспечения населения. Причём коэффициент преобразования фотовольтаических установок составляет приблизительно 15-20 %, в том время как для тепловых гелиоколлекторов он достигает 50-70 %. Одним из применений энергии Солнца является устройство, называемое гелиоколлектором (солнечным коллектором), использующее энергию солнечного излучения для нагрева жидкости [1] с последующей передачей её для нужд индивидуального и коммунального потребителя.

В представленной работе было проведено экспериментальное исследование предложенных солнечных установок.

Постановка цели исследования

В работе, проведенной аспирантами и сотрудниками кафедры «Возобновляемые источники энергии электрические системы и сети» Севастопольского государственного университета института ядерной энергии и промышленности, были выполнены ориентировочные сравнительные исследования плоских гелиоколлекторов с тремя различными видами абсорберов. Абсорбер – поверхность, непосредственно поглощающая энергию солнечного излучения и передающая ее теплоносителю, циркулирующему по каналам – трубкам [2]. Абсорберы, выбранных для исследования гелиоколлекторов, были изготовлены из стали, латуни и алюминия, со стальными, медными и алюминиевыми трубками. Два типа абсорберов имели зачерненное покрытие.

Целью данного исследования являлось получение зависимостей изменения выходной мощности и коэффициента преобразования тепловой энергии (далее - η) гелиоколлекторов в течении суток.

Исследования проводились в ясные солнечные дни при максимальном значении прямого солнечного излучения. Месяцы для исследований: апрель, май, июнь.

Первый гелиоколлектор (рис. 1) имел стальной штампованный абсорбер типа «труба в листе» с зачерненной поверхностью.

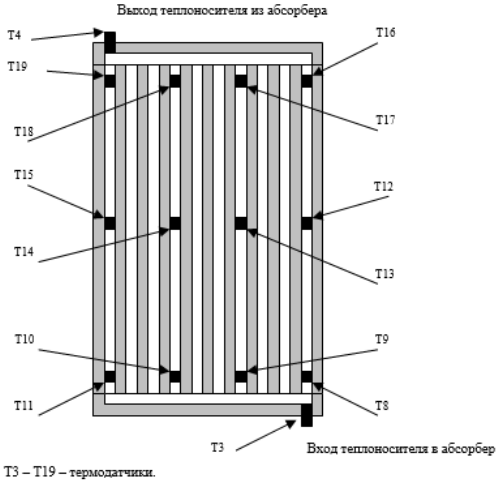


Рис. 1. Общий вид стального штампованного абсорбера и места установки термодатчиков.

Подобного типа коллектора выпускались Братским заводом отопительного оборудования.

Теплоносителем в гелиоколлекторе может являться как пресная вода, так и антифриз.

Внутри абсорбер специального покрытия, обеспечивающего пригодность использования теплоносителя для бытовых нужд (питьевая вода), не имеет. Хотя этот тип коллектора не нов, его исследования проводились с целью сравнения по единой методике испытаний всех типов гелиоколлекторов.

Результаты проведенного исследования

Исследуя расход теплоносителя в зависимости от времени работы, были установлены этапы выхода гелиоколлектора на номинальный режим работы. С 10:25 до 10:40 происходит включение гелиоколлектора в работу (первичный нагрев теплоносителя). Далее с 10:40 до 12:10 происходит выход на номинальный режим работы. Под номинальным режимом подразумевается установление постоянного расхода теплоносителя через гелиоколлектор. За это время расход теплоносителя через гелиоколлектор изменялся от 0,0 $м^3$/ч. с момента включения в работу, до 0,0258 $м^3$/ч. с момента выхода на номинальный режим. В номинальном режиме расход теплоносителя оставался постоянным и составлял, в среднем, 0,0260 $м^3$/ч., изменяясь на незначительную величину (0,0001 – 0,0003 $м^3$/ч.), вследствие кратковременного затенения облаками. За 4 часа работы гелиоколлектор прогрел 72,4 литра пресной воды. Выход на номинальный режим за 1 час 30 минут является достаточно хорошим показателем для стального абсорбера даже в апреле месяце. [4]

На графике (рис.2) приведены зависимости температур на входе и выходе из гелиоколлектора от времени по показаниям термодатчиков.

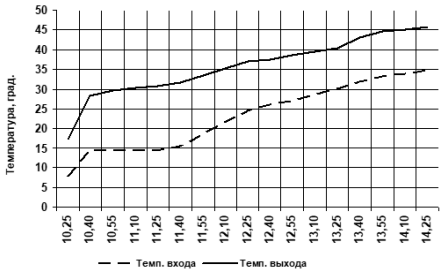


Рис. 2. Зависимость температур теплоносителя на входе и выходе из коллектора

На графике видно, что в период 10:25 – 10:40 происходит первичный нагрев теплоносителя (резкий подъем кривых). Далее температура возрастает более плавно, как до выхода на номинальный режим работы (граница в 12:10), так и в номинальном режиме.

На графике (рис.3) представлена зависимость выходной мощности гелиоколлектора от времени.

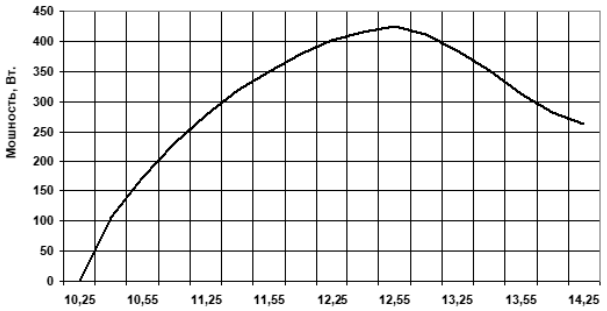


Рис. 3. Зависимость выходной мощности от времени.

Из графика видно, что выходная мощность гелиоколлектора (мощность солнечного излучения, переданная теплоносителю) резко повышается в первые 15 минут работы, а далее более плавно достигает своего максимума в 12:55, через 2 часа 35 минут работы.

Так же видно, что после достижения максимума мощность начинает снижаться. Это связано с тем, что уменьшается разность температур теплоносителя на входе и выходе из коллектора (ΔT).

На графике (рис.4) – зависимость коэффициента преобразования тепловой энергии гелиоколлектора (η) от времени. Из графика видно, что кривая к.п.д. аналогична кривой выходной мощности, то есть η максимальный в 12:55 и также снижается за счет уменьшения разности температур: ΔT.

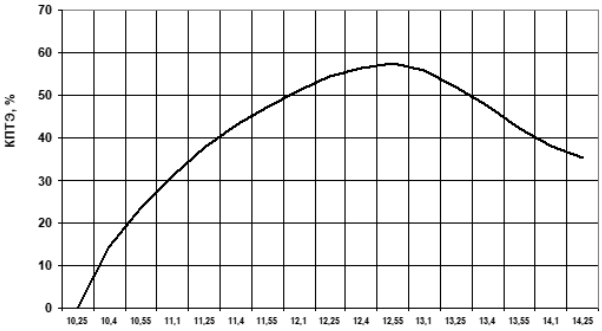


Рис. 4. Зависимость коэффициента преобразования от времени.

Второй гелиоколлектор имел латунный аб-

сорбер типа «труба в листе» с незачерненной поверхностью (рис. 5). В качестве теплоносителя в гелиоколлекторе возможно использование, как пресной воды, так и антифриза. Исследования проводились в апреле.

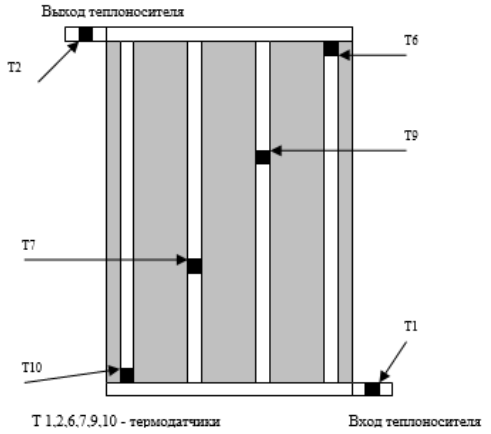


Рис. 5. Общий вид латунного абсорбера и места установки термодатчиков.

Контролируя расход теплоносителя во время исследований, было установлено, что первичный нагрев теплоносителя происходит за первые пятнадцать минут работы (с 11:15 по 11:30), а далее за два часа после включения в работу гелиоколлектор выходит на номинальную мощность (с 11:15 по 13:15). Расход теплоносителя изменялся с 0,0 $м^3$/ч. В начальный момент, до 0,0190 $м^3$/ч. в момент выхода на номинальную мощность. За 4,5 часа работы через гелиоколлектор прошло 54,7 литра теплоносителя. Учитывая, что абсорбер не имеет никакого покрытия (ни селективного, ни зачерненного), то выход на номинальный режим за два часа является хорошим показателем [5, 6].

На графике (рис.6) приведены зависимости температур теплоносителя на входе и выходе из гелиоколлектора.

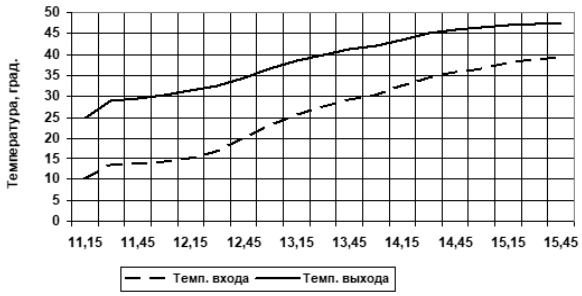


Рис. 6. Зависимость температур теплоносителя на входе и выходе из коллектора.

По кривым температуры также видны этапы выхода гелиоколлектора на номинальный режим работы. С 11:15 по 11:30 – первичный нагрев, в 13:15 – выход на номинальный режим, который сопровождается изменением характера наклона кривых.

На графике (рис.7) представлена зависимость выходной мощности гелиоколлектора от времени.

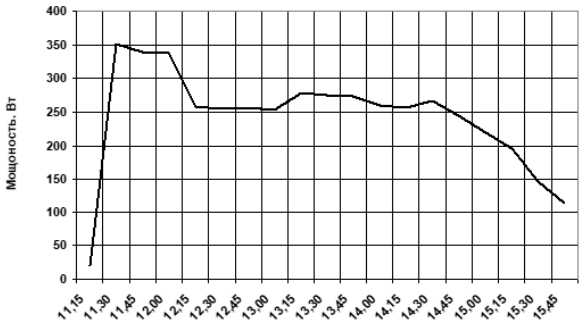


Рис. 7. Зависимость выходной мощности от времени.

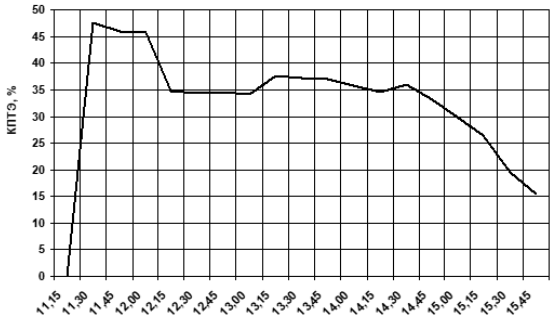


Рис. 8. Зависимость коэффициента преобразования от времени.

Из графика видно, что коэффициент преобразования гелиоколлектора меняется так же, как и выходная мощность. То есть η максимальный в начальный момент времени и снижается за счет уменьшения ΔT.

Третий гелиоколлектор (рис.9) имел абсорбер с зачерненным покрытием, изготовленным из алюминиевого спецпрофиля и медных трубок. Такого типа гелиоколлекторы производятся севастопольской фирмой «Афрос». Эти коллекторы имеют небольшой расход теплоносителя через абсорбер, за счет малого количества и небольшого диаметра (порядка 10 мм.) трубок [7, 8].

Исследуя расход теплоносителя в зависимости от времени, были установлены этапы выхода гелиоколлектора на номинальную мощность. С 10:00 до 10:15 происходит первичный нагрев теплоносителя, а затем в 11:15 гелиоколлектор выходит на номинальный режим работы. Расход

теплоносителя в установившемся номинальном режиме составил 0,0050 м^3/ч. Через гелиоколлектор за время работы прошло 20 литров теплоносителя. Выход коллектора на номинальный режим за 1 час 15 минут является хорошим показателем [3].

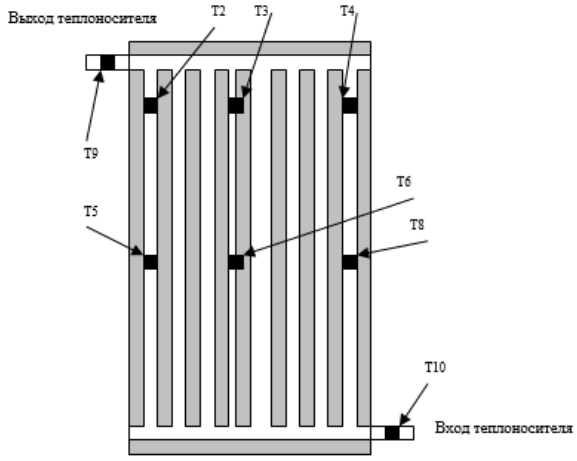


Рис. 9. Общий вид алюминиевого абсорбера с медными трубками и места установки термодатчиков.

На графике (10) представлена зависимость температуры теплоносителя на входе и выходе из гелиоколлектора.

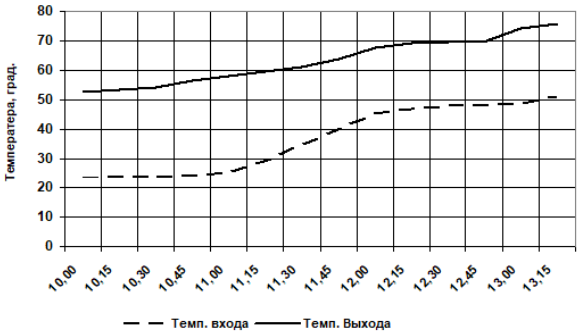


Рис. 10. Зависимость температур теплоносителя на входе и выводе из коллектора.

Зависимости температуры теплоносителя на входе и выходе из гелиоколлектора дают возможность исследовать температурный режим работы системы, а так же оптимальные температуры выхода и разность температур на входе и выходе.

На графике (рис.11) приведена зависимость выходной мощности от времени. Выходная мощность гелиоколлектора резко повысилась в первые 15 минут работы, а к 11 часам 15 минут достигла максимума. Далее мощность изменяется в зависимости от разности температур (ΔT).

График (рис.12) показывает зависимость коэффициента преобразования гелиоколлектора от времени. На нем видно, что η коллектора изменяется так же, как и выходная мощность. Максимальный η приходится на 11ч. 15мин., то есть на время выхода гелиоколлектора на номинальный режим.

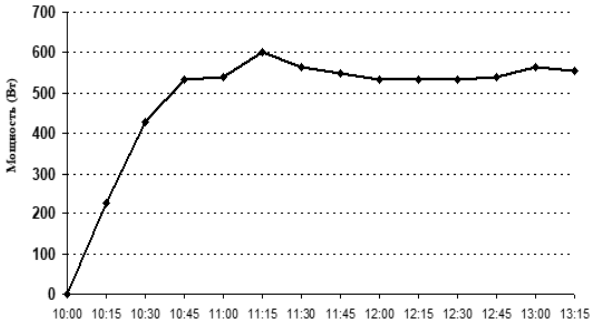


Рис. 11. Зависимость выходной мощности от времени.

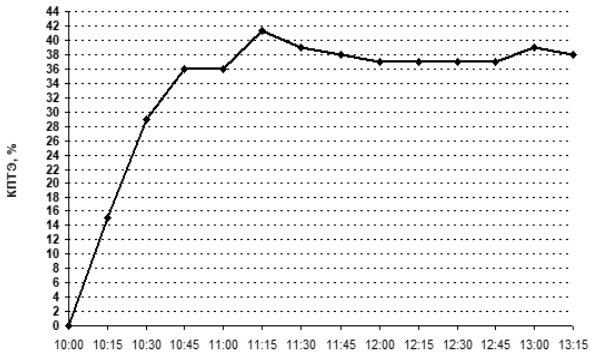


Рис. 12. Зависимость коэффициента преобразования от времени

Анализ проведенного исследования

Как видно из графиков гелиоколлектора первого типа, температура теплоносителя на выходе из гелиоколлектора составляет не более 50оС в весеннее время. Этой температуры недостаточно для систем отопления без дублирующих источников теплоты. Однако для обеспечения потребителей горячей водой, эта температура является вполне достаточной.

Отсутствие специального покрытия внутри абсорбера гелиоколлектора, несмотря на то, что это снижает себестоимость, является отрицательным фактором для применения нагретого

теплоносителя в бытовых целях (например, приготовление пищи).

Поэтому, оптимальным вариантом применения гелиоколлектора данного типа является двухконтурная система горячего водоснабжения, как с дублирующим источником теплоты, так и без него, а также двухконтурная система отопления с дублером.

По результатам исследования гелиоколлектора второго типа (исследования проводились в апреле) видно, что температура теплоносителя на выходе не превышала 45°С, а разность температур на входе и выходе составляла от 10 до 25 градусов. Все это делает возможным применение данного коллектора только в комплексе с дублирующим источником теплоты.

Однако, у этого гелиоколлектора есть свои плюсы: латунный незачерненный абсорбер делает возможным применение данной установки круглогодично, но с малым η, причем значения η мало различаются при различных интенсивностях солнечного излучения.

Гелиоколлекторы первого и второго типа найдут свое применение в качестве дублирующего источника теплоты в системах централизованного горячего водоснабжения и отопления (для подогрева теплоносителя перед котлом). Это позволит значительно снизить затраты твердого, жидкого топлив и природного газа в районных и местных котельных.

Из анализа графиков гелиоколлектора третьего типа можно сделать вывод, что для данного коллектора оптимальными являются температуры теплоносителя на выходе в пределах 60 – 70°С. Это дает возможность применения гелиоколлекторов данного типа для систем, как отопления, так и для горячего водоснабжения.

Выводы

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие основные выводы:

- Использование тепловых солнечных установок позволяет значительно сэкономить потребление электрической энергии, для производства которой необходимо использование органического топлива или фотовольтаических установок с низким коэффициентом преобразования солнечной энергии.
- При использовании солнечной тепловой энергетики для нужд коммунального хозяйства применение гелиоколлекторов различного типа позволит для конкретной ситуации (обеспечение горячей водой для бытовых нужд, отопление дома, и др.) позволит более эффективно использовать солнечные коллектора.
- Пользуясь результатами проведенных исследований возможно значительно увеличить прямое преобразование тепловой энергии гелиоколлекторами и по возможности увеличить срок их службы.

Список литературы

1. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки М: Энергоатомиздат, 1991.
2. Даффи Д. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. /У.Бекман //М.Мир, 1977г.
3. Лосева И.Г. Оценка динамики снижения мощности источников нетрадиционной и возобновляемой электроэнергии (СЭС, ВЭС, далее - ВИЭ). Использование величины снижения мощности виэ в качестве нормативного возмущения. / Перышкин М.Д., Какушина Е.Г., Решетникова Т.В., Небесный В.В.// Энергетические установки и технологии - 2020. Т. 6. № 4. С. 51-56.
4. 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.
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. 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.
7. 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.

References

1. Kharchenko N. V. Individual solar installations M: Energoatomizdat, 1991.
2. Duffy D. Thermal processes with the use of solar energy.Mir, 1977.
3. Loceva I. G. Evaluation of the dynamics of reducing the power of sources of unconventional and renewable electricity (SES, WPP, hereinafter-RES). The use of the value of the reduction in the power of renewable energy sources as a normative perturbation. / Peryshkin M. D., Kakushina E. G., Reshetnikova T. V., Heavenly V. V. / / Power installations and

technologies-2020. Vol. 6. No. 4. pp. 51-56.
4. 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. S. 38-41.
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. S. 90-93.
6. 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.
7. 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.

УДК621.31.613.5

Использование симметричной системы электроснабжения для снижения паразитных электромагнитных полей

Е.Г. Малюк, О.Н. Титаренко, А.М. Шестернёва.
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, evmalyuk@mail.ru; plotnykova198608@mail.ru; aleksandra0784@mail.ru.

Статья поступила 17.02.2021 г.; после доработки 19.02.2021 г.

Аннотация

В статье рассматриваются преимущества симметричной системы электроснабжения типа IT с изолированной нейтралью взамен системы TN. Показао, что симметричная система IT обеспечивает высокую электробезопасность и при использовании её при электроснабжении жилых, общественных и офисных зданиях обеспечивает значительное снижение уровня электромагнитных полей техногенного характера.

Ключевые слова: симметричная система электроснабжения, электромагнитные условия, электрические и магнитные поля, паразитная индукция полей.

Using a symmetrical electricity system to reduce parasitic electromagnetic fields

E.G. Malyuk, O.N. Titarenko, A.M. Shesterneva.
Sevastopol state university, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, , evmalyuk@mail.ru; plotnykova198608@mail.ru; aleksandra0784@mail.ru. aleksandra0784@mail.ru.

Received 17.02.2021 y.; received in final form 19.02.2021 y.

Abstract

The article discusses the benefits of a symmetrical IT-type electricity system with isolated neutral instead of the TN system. It is shown that the symmetrical IT system provides high electrosecurity and when using it in the electricity supply of residential, public and office buildings provides a significant reduction in the level of electromagnetic fields of a man-made nature.

Keywords: symmetrical electricity system, electromagnetic conditions, electric and magnetic fields, parasitic induction of fields.

Введение

В настоящее время достоверно установлена высокая биологическая активность ЭМП: все живое чрезвычайно чувствительно к искусственным ЭМП антропогенного происхождения. Нельзя не учитывать этот этиологический (учение о причинах болезней) фактор, постоянно действующий на человека в повседневной жизни. По мнению экспертов Всемирной организации здравоохранения, степень электромагнитного загрязнения окружающей среды сегодня выходит на уровень, близкий загрязнению ее вредными химическими веществами.

Систематическое воздействие ЭМП приводит к нарушению работоспособности, ухудшению памяти, ослаблению внимания, повышению риска сердечно-сосудистых, эндокринных, онко-

логических заболеваний, снижению иммунитета, потенции. При описании биологических эффектов ЭМП низких частот учеными страны еще в 60-е годы XX в. были выявлены нейроастенические нарушения сердечно-сосудистой системы и расстройства желудочно-кишечного тракта. Доказано достоверное увеличение случаев заболевания лейкозом у популяции детей, проживающих вблизи воздушных ЛЭП, и опухолей мозга у рабочих «электрических» профессий. Выявлен механизм более частого возникновения раковых заболеваний у детей, подолгу пребывающих вблизи высоковольтных ЛЭП. Такие линии работают как концентраторы находящегося в атмосфере радона, который, в свою очередь, провоцирует заболевания.[4]

Окружающую нас среду «загрязняют» радиопередающие устройства связи (автомобильные, портативные и ручные радиостанции и радиотелефоны), телевидение, радиолокационная, компьютерная и бытовая электротехника, электрифицированный рельсовый транспорт.

Широкое распространение электромагнитной энергии и ее стремительное проникновение во все сферы деятельности человека привели к появлению сравнительно нового комплекса загрязнителей, получивших название «электромагнитный смог», под которым понимают совокупность электромагнитных полей и различных излучений, возникающих во время работы сложного электротехнического оборудования.

Перечень последствий при воздействии ЭМП различной частоты на живой организм приведен в табл. 1.3.[4]

Биологически значимыми являются электрические поля частотой 50 Гц, создаваемые воздушными ЛЭП и подстанциями. Напряженность магнитных полей промышленной частоты в местах размещения ВЛ и подстанций сверхвысокого напряжения на 1—3 порядка превышает естественные уровни магнитного поля Земли. Электромагнитные поля ультранизкой (0—10 Гц) и очень низкой частоты (10—1000 Гц) создаются в процессе эксплуатации электрифицированного городского и железнодорожного транспорта, воздушных ЛЭП, подстанциями и кабельными трассами.

По приближенным оценкам электромагнитному облучению гигиенически значимых уровней подвергается 30 % населения по роду профессиональной деятельности (профессиональное облучение), 60 % населения вне производственной сферы: проживающие вблизи воздушных ЛЭП, в домах с электрическими плитами, пользователи ПЭВМ и сотовых радиотелефонов и др.[4]

Таблица 1.3

Частота, Гц	Отрицательный эффект
0,02	Увеличение времени реакции на возбуждение
0,06	Стойкое психическое торможение
1—3 (δ-ритм мозга)	Стресс
5 -7 (θ-ритм мозга)	Умственное утомление. Стресс. Отрицательное эмоциональное возбуждение
8—12 (α-ритм мозга)	Влияет на реактивность и эмоциональное возбуждение, вплоть до судорожной активности
12—31 (β-ритм мозга)	Умственное утомление. Усиление стресса
40—70	При высокой напряженности поля ухудшение обменных процессов. Индивидуальные физиологические изменения, беспокойство
Около 400 (пейсмекерные колебания)	Возможны функциональные нарушения
1000—12 000	Снижение аудиоактивности и слухового восприятия в целом

Человека всегда окружали электрические и магнитные поля. Так, напряженность постоянного электрического поля в воздухе перед грозой может достигать 20 кВ/м, а напряженность магнитного поля в некоторых областях Земли — 40 мкТл. К естественным полям человек адаптировался. Однако, основной вклад в общий электромагнитный фон вносят техногенные поля, которые занимают достаточно широкий частотный диапазон: от нескольких герц до сотен гигагерц (что соответствует длинам волн от 100 тыс. км до 1 мм).

Восприимчивость людей к полям сугубо индивидуальна, например 5 % чувствуют электрическое поле с E = 7 кВ/м, а 60 % людей не ощущают поле с E = 20 кВ/м. Как правило, даже сильные магнитные поля находятся ниже зоны восприимчивости человеком (мерцание на периферийных участках поля зрения).

Одним из аспектов стратегии создания в жилых помещениях России гигиенических комфортных условий является необходимость обеспечения электромагнитного комфорта. Это связано, прежде всего, с уменьшением риска пожара-электро-искра-санитарной опасности,

устранением искажений показателей природных факторов в помещениях строительными конструкциями, снижением воздействия на организм человека фона индукций и излучений внешних и внутренних техногенных электромагнитных полей (ЭМП) от электросетей, электроприборов, энергооборудования и электронных приборов.

Не контролируемую опасность для людей представляют воздействия вращающихся ЭМП (ВЭМП), индуцируемые трехфазными электросетями и оборудованием внутри здания: шины 0,4 кВ, вводные электрощиты, трансформаторные подстанции (ТП) и т.п. А также наружными средствами энергообеспечения: высоковольтными линиями электропередачи (ЛЭП), силовым оборудованием, шинами 0,4 кВ проложенных от ТП, размещенных отдельно и т.п. [2].

Доля индукций от трехфазных электросетей в общей суперпозиции полей промышленной частоты (ПЧ) в жилых и офисных помещениях ежегодно возрастает и сегодня достигает 10-20%, а на нижних этажах городских зданий в местах ввода иногда до 50%. Но санитарных норм на индукции ВЭМП до сих пор нет. Имеются только нормы на пульсирующие индукции ЭМП от однофазных электросетей. Показатели фона действующих одновременно вихревых индукций вращающихся электрических и магнитных полей (ВЭП и ВМП), в помещениях РФ сегодня никто не контролирует, несмотря на различную биологическую опасность для живых организмов право-лево-сторонних направлений вращения ВЭМП [2,4].

В предлагаемой вниманию статье рассматриваются проблемы электромагнитной совместимости в среде обитания человека и рассматривается один из вариантов снижения «электромагнитного смога».

Электромагнитная совместимость в жилых помещениях, с электрическими сетями TN

Одной из причин роста числа сердечно сосудистых, онкологических и гормональных заболеваний у людей многие исследователи связывают именно с длительным воздействием неосязаемых человеком, но воспринимаемых его организмом, фона индукций электрических полей (ЭП) ПЧ, регистрируемого практически в каждом жилом помещении и на каждом рабочем месте, где используется система электроснабжения типа TN. Предельно допустимый уровень (ПДУ) фона ЭП ПЧ, действующий на тело человека в жилых помещениях, регламентированный СанПиН 2.1.2.2801-10 - до 500В/м (среднеквадратическое значение) ограничивает напряженность ЭМП исходя из теплового воздействия на живой организм. Но амплитудное значение ПДУ напряженности гармонического ЭП ПЧ может достигать Uм = 500 × 1,41=705 В/м и воздействие его на живой организм не ограничивается только теплом, но и вызывает ионизационные процессы в тканях организма.

Проводники фазы ~220В 50Гц в распределительных и групповых сетях TN, проходящие по каждой стене здания, являются интенсивным источником фона индукции ЭП ПЧ в пространство помещений, вызывая в смежных проводящих телах токи смещения и проводимости (рис. 1). Эти токи в незаземленных, открытых и сторонних проводящих частях (ОПЧ и СПЧ) (п.п.1.7.9 и1.7.10 ПУЭ [1]): строительных металлоконструкций, сеток, решеток (в стенах, полу, потолке) индуктируют внутри помещения на расстояние 1,0-1,8 м вторичное ЭП ПЧ, напряженностью более 10 В/м.

Несмотря на то, что согласно п.1.7.82 ПУЭ металлические части каркаса (несущих стен) здания заземляются, заземлять металлоконструкции других стен жилого помещения нельзя, иначе стены становятся электромагнитными экранами.

Их экранирование усугубит дискомфортные условия в помещениях, вызовет проблемы восстановления в помещениях искаженных и сниженных защитных показателей природных факторов: геоэлектрического поля (ГЭП), геомагнитного поля (ГМП), аэроионизации воздуха (АЭ), волны Шумана [2].

Такая ситуация характерна для многих помещений РФ, оборудованных системой TN, например, в гостиницах, санаториях, домах отдыха, казармах и др. общественных и образовательных зданиях.

У многих, включаемых в двухполюсную розетку, бытовых электроприборов (холодильников, стиральных машин и др.) и приборов освещения, граница зоны индукции ЭП ПЧ может изменяться от 1,5 до 8 раз в зависимости от положения включаемых в розетку контактов вилки. Причиной тому является несимметрия в системе TN распределенной емкости проводников фаз и нейтрали в электросетях здания и в самом монтаже электроприборов относительно незаземленных частей, провоцирующая вторичную индукцию ЭП (рис. 1).

Паразитные индукции ЭП и МП от стены могут возникнуть от воздействия оборудования

(электросети), расположенного за стеной (от соседа). Опасность электротравм и возникновения пожаров часто создают однополюсные выключатели освещения в электросетях TN, в которых иногда коммутируют нулевой провод, а не провод фазы. Такие ситуации возникают сейчас довольно часто и связано это, как правило с низкой квалификацией электромонтажников.

В жилых и общественных помещениях, где используют системы TN-C, TN-S или TN-C-S , имеются места, где фон напряженности ЭП 50Гц вторичной индукции от стен и рабочих мест может достигать 120-300 В/м эфф[2]. Длительное пребывание человека в таких полях вызывает в его организме непредсказуемые состояния дискомфорта, вплоть до серьезных нарушений здоровья.

Часто вторичную индукцию ЭП ПЧ регистрируют:

- на всех компьютерных местах, питаемых от электросети;
- от настольных и подвесных приборов освещения;
- на 80% кроватей, установленных у стен-перегородок, где проходит электропроводка с той или другой стороны стены, в которую вмонтированы не заземленные сторонние проводящие части (СПЧ): арматура, металлические сетки или решетки металлических профилей для крепления гипсокартона;
- в кухнях, на расстояниях 0,3-1,2 м от стен, от приборов освещения, от печей СВЧ, холодильников и др. электроприборов, включаемых в розетку;
- в нижней части столов, имеющих металлическую столешницу, вблизи которой проходят электросети, кабели-удлинители сети, приборные кабели;
- около стен, полов, смежных с другими помещениями, где проходят электросети и т.д.

Воздействия на человека ЭП ПЧ вызывают в его теле: градиенты потенциала, токи смещения и проводимости. Эти токи втекают, прежде всего, через выступающие части тела, волосы и растекаются через них по поверхности кожи, в том числе и через места с более высокой проводимостью - биологически активные точки (БАТ). В результате нарушаются естественные процессы в этих частях тела, вызывая их дисфункцию и напряжения в регуляторных системах организма.

На кривизне поверхности выступающих частей тела, особенно на волосах (толщина волоса 120-80 мкм; проводящей ток белковой части - 50 мкм) возрастает локальная напряженность ЭП. Увеличивается плотность протекающего через них тока, инициируя сначала тихий, затем тлеющий разряд, вплоть до коронного разряда, когда волосы начинают потрескивать и светиться в темноте – при больших напряженностях ЭП [3].

Измерения на незаземленном макете (фантоме) тела человека (женщина), размещенного в электрическом поле (ЭП) 50Гц показали, что при величине неискаженного фона ЭП 17 кВ/м, напряженность, например на кончике носа, увеличивается почти в 17 раз (243 кВ/м), на голове – почти в 10 раз.

Такие условия возникают в местах открытых энергетических подстанций, вблизи высоковольтных ЛЭП и во время гроз. Но на живом организме подобный градиент ниже за счет проводимости самого тела и выдыхаемого человеком воздуха (пота), образуя вокруг тела влажную оболочку (ауру), которая шунтирует высокоимпедансное ЭП [2].

Основные преимущества применения системы IT в помещениях

На рабочих местах и в жилых помещениях зданий, построенных зарубежными строителями, в медицинских учреждениях, в оборонной промышленности РФ и др. давно используют безопасную систему электроснабжения с изолированной нейтралью типа IT (рис.1.7.4 ПУЭ) [1], ГОСТ Р 50571.28-2006 (МЭК 60364-7-710: 2002). В таких помещениях отсутствует фон ЭП ПЧ, вызванный вторичной индукцией, а фон индукций пульсирующих и вращающихся ЭП ПЧ около стен и на рабочих местах практически не превышает 10 В/м.[3]

Традиционно, система IT используется там, где требуется обеспечение высокой степени живучести электроснабжения и где отключение при первом повреждении (замыкании) нежелательно. При повреждении изоляции в системе IT при косвенном прикосновении ток, протекающий через тело человека, существенно ниже, чем в системе TN [СП 31-110-2003].

Среди декларированных ПУЭ систем электроснабжения только система IT соответствует требованиям, обеспечивающие пожара-электроискра-санитарную безопасность и комфортные условия фона индукций ЭМП ПЧ в жилых и общественных зданиях, в «зеленых домах» [2].

В случае замыкания на землю одной фазы в электросети с изолированной нейтралью, немедленного отключения оборудования (на котором

произошло замыкание не требуется, т.к. отсутствуют большие токи, способные привести к повреждению оборудования. Оборудование может работать сколь угодно долго, не прерывая питания потребителей. Отключения питания оборудования происходит при втором замыкании.

За рубежом безопасность компьютерных рабочих мест была регламентирована стандартом MPR-II-1990 г., затем MPR-III-1995 г. (Швеция), где допустимые критерии фона ЭП и МП ПЧ, составили 25 В/м и 0,2 А/м, которые затем были приведены в СанПиН 2.2.2.542-96.

В результате исследований американских и финских ученых было установлено, что организм человека не реагирует на длительные воздействия ПДУ фона пульсирующего ЭП и МП 50 Гц – 10 В/м и 0,12 А/м.

В данный момент строители в развитых странах эти уровни используют в качестве рекомендуемых норм ПДУ для всех мест, где присутствуют люди.. В оборонных, медицинских и зарубежных офисных помещениях, где была использована симметричная система электроснабжения типа IT, уровень фона ЭП ПЧ не превышал 10 В/м на ~90% рабочих мест [2].

Выяснено, что в зданиях, использующих систему IT, паразитный фон ЭП ПЧ в помещениях снижается более чем в 10 раз из-за компенсации наводок в окружающих телах от воздействий разнополярных мгновенных напряжений проводников сети за счет симметрии их емкостных связей относительно частей заземлений (рис. 2). Не менее чем на 5% повышается энергосбережение за счет снижения токов утечек, токов смещения, паразитных разрядов в электросетях. Снижается энергия искровых разрядов (и помех) при коммутациях токов за счет уменьшения емкости проводников относительно заземлений. Амплитуды помех в электросетях от воздействий внешних электромагнитных импульсов (ЭМИ) с фронтом нарастания более 7 нс снижаются в 2-3 раза [3].

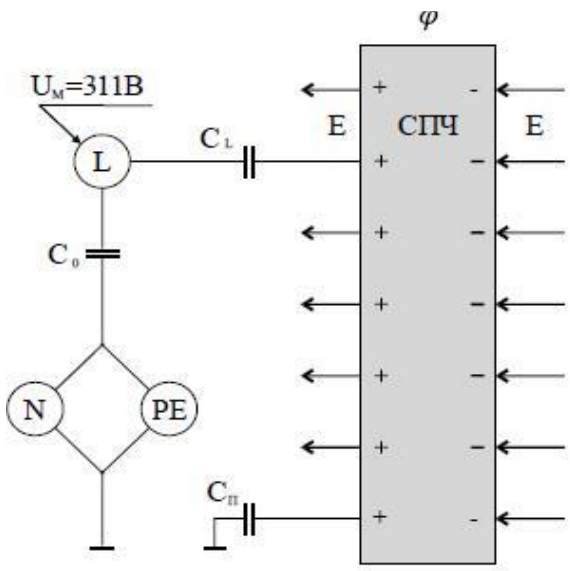
Во многих случаях применение витой пары в электросети IT здания не менее чем в 1,5 раз снижает показатели фона паразитной индукции МП ПЧ в помещении и амплитуду наводок в смежных информационных сетях от воздействий коммутационных помех и заносов электромагнитных импульсов (ЭМИ) в электросети.

Эксплуатационный ресурс устройств защиты и средств коммутации в электросетях IT повышается за счет снижения емкостной составляющей коммутационного тока и тока короткого замыкания по сравнению с сетью TN.[3]

Снижения фона электрического поля от симметричных цепей

По отношению к заземленным частям здания однофазные цепи электроснабжения системы TN– несимметричные, а однофазные цепи системы IT – симметричные. Проведенные инструментальные измерения в жилых и общественных помещениях граничной зоны индукций от стен, по которым проходит (или в которые вмонтирована) электросеть ~220В 50 Гц, показали, что в зданиях, оборудованных системой TN, напряженность 10 В/м ЭП регистрируют на расстояниях 1,0-1,8 м, а в зданиях, оборудованных системой IT - 0,1-0,01 м [2].

На рис. 1 приведена эквивалентная схема образования в помещении вторичной индукции ЭП ПЧ напряженностью E от СПЧ, индуцированных напряжением от проводника L относительно заземленных проводников N и PE несимметричной электросети типа TN.



$$\varphi(E) = \int (C_L, C_O, C_П)$$

Рис.1. Схема индукции ЭП ПЧ СПЧ в помещении от насимметричной электросети типа TN.

На рис. 2 приведена эквивалентная схема компенсации в СПЧ разнополярных потенциалов φ, индуцированных напряжениями от проводников L и N относительно заземленного проводника PE симметричной электросети типа IT.

На схемах показаны основные емкостные

делители, которые для низких частот и ПЧ практически определяют коэффициенты передачи мгновенных значений потенциалов φ в СПЧ, индуцируемых максимальным напряжением *Um* от проводника L на рис. 1 и индуцированных напряжениями *Um*/2 от проводников L и N на рис.2, и образование (рис. 1) градиента потенциала напряженностью *E* электрического поля, вектор которого направлен в помещение.

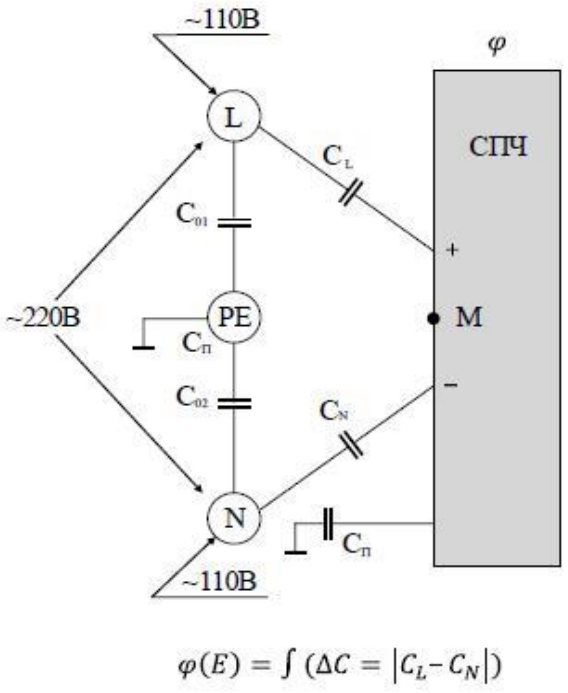


Рис. 2. Схема компенсации в СПЧ разнополярных зарядов индукции ЭП ПЧ от симметричной электросети типа IT

На рис. 1 уровень напряженности *E* ЭП, индуцируемый в помещение, определяется соотношением емкостей C_L, C_0 и *C*п проводников электросети слева от СПЧ. Если справа от СПЧ проходит такая же электросеть (на рис. не показана), то напряженность *E* в помещении увеличивается. Если фазы напряжений в электросетях слева-справа не совпадают, то в составе индуцированного СПЧ ЭП появляется вращающееся ЭП, направление которого зависит от сдвига фаз между ними. Это тот случай, когда в одной квартире используется фаза А, а в соседнюю за стеной приходит фаза В или С (разное направление вращения ЭП) трехфазной системы TN электроснабжения здания.

На рис. 2 остаточный уровень градиента потенциала φ - напряженности *E* ЭП, индуцируемый в помещение, определяется в основном разностью ΔC емкостных связей C_L и *C*n относительно СПЧ $\Delta C = f(|C_L - C_n|)$. В точке М СПЧ мгновенные значения потенциалов (+ и –), индуцированные разнополярными напряжениями от проводников L и N, компенсируются. Напряжение на СПЧ остается примерно равным нулю относительно заземленных, проводящих ток смежных частей конструкций здания и проводников, когда $C_L = C$n, т.е. $\Delta C = 0$. Тогда вторичная индукция ЭП ПЧ в помещении от проводящих незаземленных и заземленных частей существенно снижается (практически отсутствует). Соответственно, паразитные токи по телу незаземленного или заземленного человека не будут протекать.

Заключение

Несимметричная трехфазная система электроснабжения типа TN, регламентированная ПУЭ для жилых и общественных зданий, не в полной мере соответствует современным требованиям пожара-электро- искра - санитарной безопасности, комфортным и экологическим условиям в среде обитания. Использование симметричной системы элекроснабжения в среде обитания РФ позволит:

1. Существенно: снизить риски техногенных пожаров, взрывов газа, аварий, катастроф, электро-искра потенциально опасных условий и деструктивных воздействий на технические средства,повысить энергосбережение и эксплуатационный ресурс средств электроснабжения.
2. Снизить самый распространенный фактор дискомфорта в жилых помещениях - «электромагнитное загрязнение», паразитный фон ЭП ПЧ, до граничного уровня 10 В/м (комфортные условия), на который организм человека не реагирует.
3. Снизить паразитный фон МП, индуцированный токами в электроцепях помещений (в том числе вращающихся МП), за счет их симметрии в результате действия механизмов компенсации разнополярных электрических зарядов и магнитных потоков. Во многих случаях отпадает необходимость в экранировании МП ПЧ электросетей и устройств.
4. Обеспечить стабилизацию показателей защитных природных факторов и комфортные условия ЭМП ПЧ в пространстве помещения, где человек может находиться длитель-

ное время. Рекомендовать для жилых помещений, офисных рабочих мест и транспорта уровень индукций вращающихся ПМ ПЧ в суперпозиции фона ВЭМП вокруг человека не более напряженностью 0,12 А/м.

Список литературы

1. ПУЭ (шестое и седьмое издание); ПОТ; ПТЭ.-Новосибирск: Норматика, 2018. – 672 с., ил.
2. Рябов Ю.Г., Трубицин А.В., Ломаев Г.В., Тюренков С.Н. Снижение «электромагнитных загрязнений» и дискомфортных условиях в среде обитания путём перехода на симметричную систему электроснабжения.-Технологии ЭМС.-№2(57)- с.52-59.
3. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике: А.Ф. Дьяков, Б.К. Максимов, Р.К. Борисов, И.П. Кужекин, А.Г. Темников, А.В. Жуков; под ред. чл.-корр.РАН, докт.техн. наук, проф. А.Ф. Дьякова.-2-е изд., испр. И дополн.-М.: Издательский дом МЭИ, 2011.-544 с.: ил.
4. Яковлев В.Н. Электромагнитная совместимость электрооборудования электроэнергетики и транспорта: /В.Н. Яковлев, В.И. Пантелеев, В.П. Суров; под общ. ред. В.Н. Яковлева.- М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 588 с.

References

1. PUE (sixth and seventh edition); POT; PTE.- Novosibirsk: Normica, 2018. - 672 pp., il.
2. Ryabov Yu.G., Trubitsin A.V., Lomaev G.V., Tyurenkov S.N. Reducing "electromagnetic pollution" and uncomfortable conditions in the habitat by switching to a symmetrical electricity system.-Ems.-No2 (57) - p.52-59.
3. Electromagnetic compatibility and lightning protection in the electric power industry: A.F. Diakov, B.K. Maximov, R.K. Borisov, I.P. Kuzhekin, A.G. Temnikov, A.V. Shchukov; under ed.h.-corr.RAN, Doct.technical sciences, Prof. A.F. Diakova.-2nd ed., and supplement.-M.: Publishing House MEI, 2011.-544:
4. Yakovlev V.N. Electromagnetic Compatibility of Electrical Equipment of Electricity and Transport: /V.N. Yakovlev, V.I. Panteleyev, V.P. Surov; under the general ed. V.N. Yakovlev.- M.: MEI Publishing House, 2010- 588 s.

УДК 621.316

Конструктивное решение защиты асинхронного двигателя от межвитковых замыканий обмотки статора

Ю.И. Рясков[1], Н.М. Шайтор[2], А.В. Горпинченко[3]
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская,33,
г. Севастополь, 299053, Россия, [1]rjaskoff@mail.ru, [2]shaytor1950@mail.ru, [3]AVGorpinchenko@sevsu.ru

Статья поступила 22.02.2021 г.; после доработки 25.02.2021 г.

Аннотация

Рассмотрены неисправности асинхронных электрических двигателей, активно применяющиеся в промышленном электроприводе. Разработаны и приведены практические рекомендации по усовершенствованию действующих в настоящее время и конструированию перспективных защит асинхронных машин от витковых замыканий, которые обладают необходимой избирательностью, чувствительностью, быстродействием и учитывают асимметрию напряжения питающих сетей.

Ключевые слова: аварийные режимы двигателей, витковое замыкание, ток короткого замыкания, обмотка статора асинхронного двигателя, кольцевая измерительная катушка, двухобмоточный тороидальный трансформатор.

The design of the protection asynchronous motor protection from inter-turn short circuits of the stator winding

Y.I. Rjaskov[1], N.M. Shaytor[2], A.V. Gorpinchenko[3]
Sevastopol State University,33 Universitetskaya str., Sevastopol, 299053, Russia.
[1]rjaskoff@mail.ru, [2]shaytor1950@ mail.ru, [3]AVGorpinchenko@sevsu.ru

Received 22.02.2021 y.; received in final form 25.02.2021 y.

Abstract

Malfunctions of asynchronous electric motors, which are actively used in industrial electric drive, are considered. Practical recommendations are developed and presented for improving the current and future design of asynchronous machine protection against loop closures, which have the necessary selectivity, sensitivity, speed and take into account the voltage asymmetry of the supply networks.

Keywords: emergency modes of motors, winding short circuit, short circuit current, the stator winding of the induction motor, ring measuring coil, two-winding toroidal transformer.

Введение

Асинхронные двигатели (АД), занимающие лидирующие позиции среди силовых агрегатов различного типа оборудования обычно рассчитаны на срок службы 15 - 20 лет без капитального ремонта, при условии их правильной эксплуатации. Однако в реальных условиях имеет место плохое качество питающего напряжения и нарушение правил технической эксплуатации: технологические перегрузки, условия окружающей среды (повышенные влажность, температура), снижение сопротивления изоляции, нарушение режимов охлаждения. Наиболее часто встречающимися неисправностями в асинхронных двигателях являются: перегрузка или перегрев статора электродвигателя — 31%; межвитковое замыкание — 15%; прочие виды неисправностей — 54% [1,2].

В частности, при обрыве одной фазы сети во

время работы АД при нагрузке не более 50% номинальной, двигатель продолжает работать с увеличенным потреблением энергии с незначительным снижением скорости. При нагрузке более 50% номинальной, двигатель останавливается, и при отсутствии надлежащей защиты его обмотка выйдет из строя. После остановки такой двигатель не запускается даже на холостом ходу, так как вместо вращающегося магнитного поля трех фаз появляется пульсирующее магнитное поле двух фаз.

При соединении обмоток статора звездой внутренний обрыв одной фазы дает такие же результаты, как при обрыве одной фазы питающей сети. При соединении обмоток треугольником, обмотки двух исправных фаз окажутся подключенными к сети по схеме открытого треугольника. Создается вращающееся магнитное поле, и двигатель запускается, развивая нормальную скорость. Во время работы под нагрузкой двигатель потребляет из сети повышенный ток, а две оставшиеся в работе фазы статора перегреваются. Часто обмотка двигателя полностью выходит из строя при длительной работе двигателя по схеме открытого треугольника [3,4].

При витковом замыкании двигатель сильно гудит, величина тока во всех фазах неодинакова, при нагрузке двигателя ротор вращается с пониженной скоростью. Через некоторое время после возникновения виткового замыкания двигатель дымит, появляется характерный запах горящей изоляции.

Высокая повреждаемость обмоток электрических машин объясняется не только тяжелыми условиями их работы, но и недостаточной стабильностью электрических свойств изоляционных материалов, несовершенной технологией укладки всыпных обмоток, которые приобретают качество дефектной неремонтируемой структуры с отложенной аварийностью. В результате повреждения изоляции может произойти замыкание между обмоткой и магнитопроводом, замыкание между витками катушек или между фазными обмотками [5].

Основной причиной повреждения изоляции является резкое снижение электрической прочности под влиянием увлажнения обмотки, загрязнения поверхности обмотки, попадания в электродвигатель металлической стружки, токопроводящей пыли, наличия в охлаждающем воздухе паров агрессивных жидкостей, продолжительной работы электродвигателя при повышенной температуре обмотки, естественного старения изоляции [6].

Анализ аварийных режимов и видов защит трехфазных асинхронных двигателей

К аварийным режимам двигателей относятся: многофазные (трех- и двухфазные) КЗ в обмотках, в выводной коробке или соединительном кабеле; однофазные замыкания на землю в сетях с глухозаземленной нейтралью; витковые замыкания в обмотках. Защиты при аварийных режимах должны действовать селективно, иметь высокое быстродействие, обладать необходимой чувствительностью и надежностью. Защиты от анормальных режимов должны обладать теми же качествами, но, как правило, не требуют высокого быстродействия. Они действуют на срабатывание предупреждающей сигнализации, а отключение производится только при возникновении опасности повреждения оборудования.

Для электродвигателей напряжением до 1000 В применяются следующие виды защит: мгновенная релейная защита (РЗ); РЗ от междуфазных КЗ, РЗ от перегрузки, РЗ минимального напряжения. Защита от КЗ отключает двигатель при появлении в его силовой (главной) цепи или в цепи управления токов короткого замыкания. В качестве аппаратов защиты используют плавкие предохранители, электромагнитные реле, автоматические выключатели с электромагнитным расцепителем [7].

При недостаточной чувствительности, селективности или низком быстродействии защит применяют микроэлектронные и микропроцессорные защиты [8]. Микропроцессорные защиты обладают многофункциональностью, высокой чувствительностью, более стабильными и точными характеристиками, позволяют более полно использовать перегрузочные характеристики защищаемого двигателя, выполняют функцию ранней диагностики развития аварий, имеют функцию самодиагностики. Логическая селективность позволяет с минимальной выдержкой времени отключить ток КЗ, что обеспечивает минимальный термический износ изоляции при аварийных режимах. Вместе с тем они не защищают двигатель от межвитковых замыканий статорных обмоток, так как отсутствуют проверенные устройства и способы эффективной диагностики неисправности подобного рода. Кроме того, эти защиты являются уязвимыми, поэтому для обеспечения

надёжности их целесообразно использовать совместно с релейными защитами [9].

Проблемные вопросы защиты обмоток статора АД от витковых замыканий

Межвитковые замыкания витков в фазе обмотки статора являются достаточно распространенным и тяжёлым видом повреждения, так как значение тока в короткозамкнутых витках может быть соизмеримо со значениями тока многофазных КЗ. При этом изменение потребляемого фазой тока незначительно и недостаточно для срабатывания максимальной токовой защиты, токовой отсечки или дифференциальной токовой защиты на ранней стадии развития аварийного процесса. По этой причине выполнение чувствительной защиты от межвитковых замыканий представляет собой сложную задачу [10, 11].

Рассмотрим, что происходит при витковом замыкании в отдельной фазе статора (например, в фазе А) на примере простейшей двухслойной двухполюсной обмотки с диаметральным шагом. Пусть число пазов на полюс и фазу у такой обмотки равно единице, а катушечная группа и фаза состоит из двух секций, соединённых в электрическом отношении последовательно. На рис. 1а показано замыкание между секциями одной фазы, соединёнными последовательно и находящимися в верхнем и нижнем слое паза, при этом образуется короткозамкнутый виток. С физической точки зрения это сравнимо с появлением на статоре четвертой неподвижной обмотки, замкнутой накоротко. Вращающееся магнитное поле обмотки статора будет индуктировать в ней ЭДС подобно тому, как оно индуктирует ЭДС в обмотке ротора во время пуска при скольжении, равном единице. И хотя ЭДС в короткозамкнутом витке будет во столько раз меньше ЭДС фазы, во сколько раз число короткозамкнутых витков меньше общего числа витков в фазе обмотки, но и величина их полного сопротивления будет во столько же раз меньше полного сопротивления фазы. Поэтому в короткозамкнутом витке установившийся ток короткого замыкания будет равен пусковому току данного двигателя. Кратности пусковых токов различных типов асинхронных двигателей даются в каталогах и находятся в пределах 5÷7,3.

В соответствии с законом саморегулирования АД при поддержании постоянной величины действующего значения напряжения, подаваемого на обмотку статора, такой ток короткого замыкания в 1% закороченных витков вызовет увеличение тока в неисправной фазе только на 5÷7%. Этого недостаточно для срабатывания максимальной токовой защиты, токовой отсечки и дифференциальной токовой защиты, тем более, что двигатель перед аварией мог работать с неполной нагрузкой.

На рис. 1b показано замыкание между секциями, когда катушечные группы для образования фазы соединены параллельно. В этом случае образуется не один, а два короткозамкнутых контура. Двухслойные обмотки часто изготавливают с сокращённым шагом секций для устранения высших гармоник напряжений. В таком случае в одном пазу могут находиться витки секций разных фаз. На рис. 1с показано замыкание витков секций фазы А и фазы С при соединении фаз треугольником. В этом случае образуется сложный короткозамкнутый контур, по которому протекает ток короткого замыкания, включая проводники обмотки фазы В.

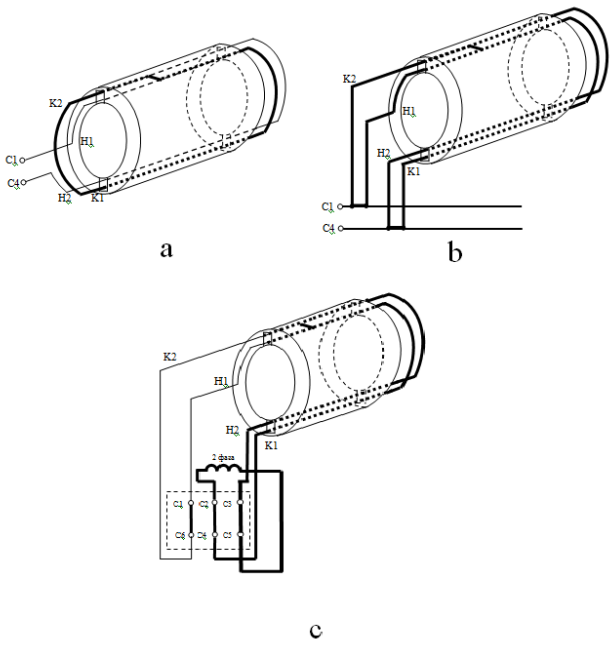


Рис.1. Вероятные короткие замыкания обмоток статора: а – между секциями одной фазы, находящимися в верхнем и нижнем слое паза; b – между секциями одной фазы, соединёнными параллельно; с - витков секций фазы А и фазы С при соединении фаз треугольником

Некоторые авторы полагают, что необязательно устанавливать релейную защиту от виткового замыкания ввиду её сложности и считают, что в процессе развития аварии она либо перейдёт в замыкание на корпус, либо в замыкание между фазами. По их мнению, в случае виткового замыкания двигатель будет отключен

этими максимальными защитами [12,13].

Однако срабатывание максимальной токовой защиты при витковом замыкании произойдёт тогда, когда ток фазы достигнет значений не менее $2,5 \div 3I_{Н}$, что соответствует повреждению 40÷50% витков фазы и значительному повреждению сердечника. При восстановлении такого двигателя необходимо полностью заменить сердечник статора и обмотку, а стоимость ремонта составляет около 70% стоимости нового двигателя.

Исследования показывают, что в процессе образования короткозамкнутого витка при пробое витковой изоляции между секциями глухое металлическое замыкание устанавливается не сразу. Этот процесс перемежается аварийной циклической коммутацией цепи, что стимулирует сильную электрическую дугу при большой температуре горения.

Процесс вызывает лавинообразное повреждение изоляции, оплавление зубцов статора и расширение зоны повреждения. Поэтому очень важно мгновенно определить вид повреждения и отключить двигатель для уменьшения зоны повреждения, времени и денежных затрат на ремонт.

В конструкции защиты от витковых замыканий, реагирующей на потоки рассеяния лобовых частей статорной обмотки двигателя, чувствительным элементом является кольцевая измерительная катушка, расположенная внутри двигателя в непосредственной близости от лобовой части обмотки так, чтобы её плоскость была перпендикулярна оси вращения ротора, её геометрический центр находился на этой оси, а её выводы были подключены к реагирующему органу (РО). [14].

Данное устройство имеет существенные недостатки, которые создали серьёзные препятствия в практической реализации. Данная защита при несимметрии напряжения может срабатывать на отключение двигателя так, как будто произошло витковое замыкание между секциями одной фазы.

Действительно, при симметричном фазном напряжении и отсутствии межвиткового замыкания фазные токи тоже симметричны, т.е. одинаковы по величине и сдвинуты по фазе на 120 электрических градусов (рис. 2a). Три фазных тока, проходя по лобовым частям обмотки, создают три одинаковых по величине и сдвинутых по фазе на 120 электрических градусов потоков рассеяния, которые индуктируют в измерительной катушке блока защиты три одинаковых по величине и сдвинутых по фазе на 120 электрических градусов ЭДС, сумма которых равна нулю.

Однако при несимметрии питающего напряжения [15] или возникновении межвиткового замыкания фазные токи, проходящие по лобовым частям обмотки, становятся неодинаковыми по величине.

Это вызывает появление трёх неодинаковых по величине и сдвинутых по фазе на 120 электрических градусов потоков рассеяния, которые индуктируют в измерительной катушке три неодинаковых по величине и сдвинутых по фазе на 120 электрических градусов ЭДС. В этом случае на выходе измерительной катушки появляется некомпенсированное напряжение, которое подаётся на вход реагирующего органа и вызывает ложное срабатывание защиты (Рис. 2b).

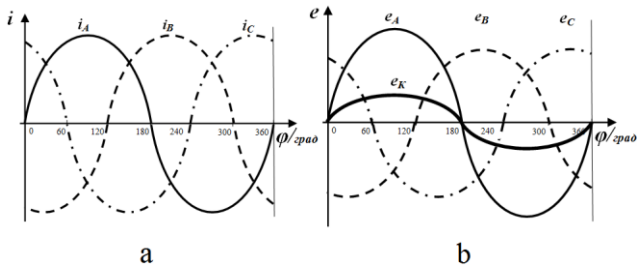


Рис.2. Физические процессы в обмотках статора и измерительной катушке двигателя: a – фазные токи в обмотках статора при отсутствии межвиткового замыкания и симметричном питающем напряжении; b – ЭДС, индуктируемые потоками рассеяния лобовой части обмотки статора в измерительной катушке при межвитковом замыкании в фазе А

В рассматриваемом устройстве потоки рассеяния лобовых частей обмотки, проходят, в основном, по воздуху, имеющему малую магнитную проницаемость, что обусловливает незначительную их величину. Это существенно снижает чувствительность измерительной катушки, которая отделена в осевом направлении от лобовой части обмотки воздушным промежутком. Кроме того, в данной защите существенное влияние на величину напряжения измерительной катушки оказывают помехи, обусловленные осевым потоком рассеяния, вызванного статическим и динамическим эксцентриситетами, а также потоками рассеяния короткозамкнутого кольца обмотки ротора [16].

Для предупреждения ложного срабатывания защиты при несимметрии питающего напряжения, предлагается в блок защиты (рис. 3) встроить двухобмоточный тороидальный трансфор-

матор 1. Первичная трёхфазная обмотка 2 трансформатора соединена звездой и подключена к трёхфазной цепи 3, питающей двигатель 4. Выходы вторичной однофазной обмотки 5 подключены параллельно и встречно выходам измерительной катушки 6, подключенной к реагирующему органу 7. При симметрии питающего напряжения сумма магнитных потоков, создаваемых токами первичной трёхфазной обмотки 2 тороидального трансформатора 1 равна нулю, и на выходе вторичной однофазной обмотки 5 напряжение отсутствует.

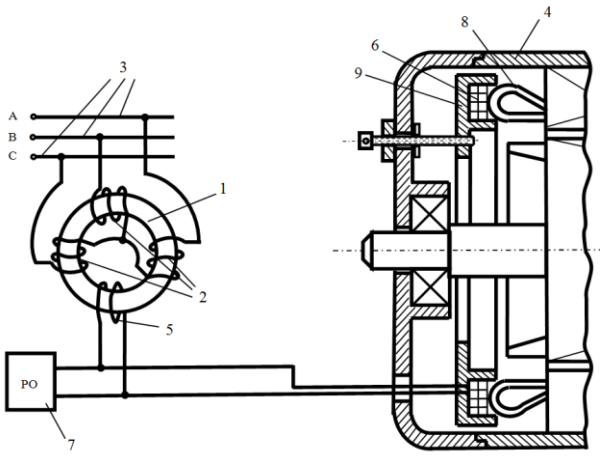


Рис.3. Модифицированное устройство релейной защиты

При возникновении асимметрии питающего напряжения в режиме работы двигателя 4 под нагрузкой фазные токи также становятся неодинаковыми. Они проходят по лобовым частям 8 обмотки статора и создают три неодинаковых по величине и сдвинутых по фазе на 120 электрических градусов потока рассеяния. Последние будут индуктировать в измерительной катушке 6 три неодинаковых по величине и сдвинутых по фазе на 120 электрических градусов ЭДС. В сумме ЭДС уже не дадут ноль, и на выходе измерительной катушки появится напряжение.

В то же время при несимметричном питающем напряжении сумма магнитных потоков, создаваемых токами первичной трёхфазной обмотки тороидального трансформатора, не равна нулю. На выходе вторичной однофазной обмотки появится напряжение, равное по величине и противоположное по направлению напряжению на выходе измерительной катушки. Вследствие этого напряжение на реагирующий орган 7 не подаётся, и защита не срабатывает.

При симметричном питающем напряжении на выходах вторичной однофазной обмотки тороидального трансформатора встречное напряжение отсутствует. При возникновении межвиткового замыкания в фазе статорной обмотки на реагирующий орган подаётся напряжение от измерительной катушки, защита срабатывает по сигналу «витковое замыкание в фазе обмотки статора», и двигатель отключается от сети.

Для того чтобы существенно увеличить чувствительность измерительной катушки, которая отделена в осевом направлении от лобовой части обмотки воздушным промежутком, предложено измерительную катушку вставить в п-образный паз кольцевого магнитного сердечника 9, установленного внутри электрического двигателя 4, причём паз сердечника должен быть обращен к находящейся в непосредственной близости лобовой части 8 статорной обмотки двигателя. Кроме этого, магнитный сердечник 9, охватывающий измерительную катушку, будет служить магнитным экраном для помех, обусловленных осевым потоком рассеяния, вызванного статическим и динамическим эксцентриситетами, а также потоком рассеяния короткозамкнутого кольца обмотки ротора.

Выводы

Из обзора и анализа материалов, посвященных проблемам защиты электрических машин, с учетом изложенного опыта разработок и исследований авторов, вытекает следующее: многочисленные попытки создания и внедрения релейных защит от межвиткового замыкания обмотки статора не получили широкого применения из-за сложности конструкции и недостаточной чувствительности к замыканиям между витками одной фазы статора. Авторы статьи поддерживают идею создания защиты от витковых замыканий путём реагирования кольцевой измерительной катушки, расположенной внутри двигателя, на потоки рассеяния лобовых частей статорной обмотки двигателя при коротком замыкании внутри обмотки, в комбинации с микропроцессорными защитами. Усовершенствования защиты, предлагаемые авторами статьи, позволяют отстроиться от ложного срабатывания при несимметрии питающего напряжения, повысить чувствительность и перейти к практической реализации защиты. Очевидно, что в комплексе с микроэлектронной и микропроцессорной защитой, предлагаемое устройство способно обеспечить высокую эффективность защиты, включая защиту обмоток статора электрических машин

от межвитковых кротких замыканий.

Список литературы

1. Рясков Ю.И. Шайтор Н.М., Горпинченко А.В. Релейная защита электрических машин в энергетических системах и комплексах // Сборник научных трудов СевГУ Энергетические установки и технологии. - 2020. - Т.6. №1. С.77-82.
2. Воробьев А.Э., Фатьянов С.О. Анализ причин отказов в работе асинхронных электродвигателей в сельском хозяйстве и в промышленном производстве // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2017. № 2 (5). С. 169-174.
3. Привалов Е.Е. Диагностика асинхронных двигателей электроэнергетического оборудования. Москва, 2015. 70 с.
4. Сафин Н.Р., Прахт В.А., Дмитриевский В.А. Диагностика неисправностей обмотки статора асинхронных двигателей // Автоматизация в электроэнергетике и электротехнике. Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. 2015. Т. 1. С. 139-146.
5. Gazyrin V.E., Osintsev A.A., Librinov L.L., Frobva E.I. Verification of distance relay of relay protection and emergency control automation equipment in asynchronous mode by standard devices of the retom test complex // Power Technology and Engineering. 2018. Т. 52. № 2, pp. 242-247.
6. Волобуев С.В. Технико-экономическая оценка повышения эффективности защиты асинхронных двигателей от ненормальных режимов работы тепловыми реле // В сборнике: Эколого-мелиоративные аспекты рационального природопользования. Материалы Международной научно-практической конференции. 2017. С. 234-238.
7. Брейдо И.В., Сенькина И.Ю., Нурнаганбетова Г.С. Способ косвенной защиты от перегрева для электроприводов горношахтных установок // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т.329. № 2. С. 65-73.
8. Анисинов К.В., Попов А.Е. Сравнение аналоговой и микропроцессорной релейных защит // В сборнике: Ключевые проблемы и передовые разработки в современной науке. Сборник научных трудов по материалам I Международной научно-практической конференции. 2017. С. 107-111.
9. Гуревич В.И. Уязвимости микропроцессорных реле защиты. Проблемы и решения. Москва, 2014. 256 с.
10. Богдан А.В., Соболь А.Н. Информационные признаки повреждения обмотки статора для построения релейной защиты автономного асинхронного генератора // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2017. Т. 60. № 6. С. 72-76.
11. AndreevA.M., Andreev I.A., Lyakhovsky Y.Z. Choosing expert evaluations of diagnostic tests of electric insulation for high-voltage electric machines // Russian Electrical Engineering. 2018. Т. 89, no 5, pp. 318-321.
12. Мосалев В.А. Основные направления совершенствования релейной защиты для электродвигателей // Сборник статей ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА. Ижевск, 2015. С. 59-60.
13. Юдаев И.В., Волобуев СВ., Феклистов А.С. Повышение эффективности тепловых устройств защиты асинхронных двигателей // Вестник аграрной науки Дона. 2018. Т. 4. № 44. С. 94-98.
14. Клецель М.Я., Новожилов А.Н., Поляков В.Е. Электрическая трехфазная машина с встроенным блоком для защиты от повреждения обмотки статора // Авторское свидетельство СССР, № 1046852, 1983).
15. Наумов И.В., Шевченко М.В., Белоусова Е.А. Управление режимами работы асинхронного двигателя в условиях несимметрии напряжении питающей сети // Сборник научных трудов энергетика и информационные технологии / Ответственный редактор О.А. Пустовая. Благовещенск, 2017. С. 89-96.
16. Antonov V.I., Naumov V.A., Fomin A.I., Soldatov A. V. Adaptive structural analysis of input signals of digital and relay protection and automation // Russian Electrical Engineering. 2015. Т. 86. № 7, pp. 391-397.

References

1. Ryaskov Yu. I. Shaitor N. M., Gorpinchenko A.V. Relay protection of electric machines in power systems and complexes / / Sbornik nauchnykh trudov SevSU Energeticheskie ustanovki i tekhnologii. - 2020. - T. 6. No. 1. - p. 77-82.
2. Vorobiev A. E., Fatyanov S. O. Analysis of the causes of failures in the operation of asynchronous electric motors in agriculture and in industrial production // Bulletin of the Council of young scientists of the Ryazan state agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2017, no 2 (5). pp. 169-174.
3. Privalov E. E. Diagnostics of asynchronous motors of electric power equipment. Moscow, 2015. 70 p.
4. Safin N. R., Pracht V. A., Dmitrievsky V. A. Diagnostics of faults of stator winding of asynchronous motors // Automation in electric power industry and electrical engineering. Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin. 2015, vol.1, pp. 139-146.
5. Gazyrin V. E., Osintsev A. A., Librinov L.L., Frobva E.I. Verification of distance relay of relay protection and emergency control automation equipment in asynchronous mode by standard devices of

the retom test complex // Power Technology and Engineering. 2018. 52, no 2. pp. 242-247.
6. Volobuev S. V. Technical and economic assessment of increasing the efficiency of protection of asynchronous motors from abnormal modes of operation by thermal relays // In the collection: Ecological and meliorative aspects of rational nature management. Materials of the International scientific and practical conference. 2017. pp. 234-238.
7. Breido I.V., Sinicina I.Y., Nurmaganbetova G.S. Method indirect overheat protection for electric mining installations // Proceedings of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of geo-resources. 2018, vol. 329, no 2. pp. 65-73.
8. Anisimov K. V., Popov A. E. Comparison of analog and microprocessor relay protection // In the book: Key issues and new developments in modern science, Collection of scientific works on materials of I International scientific-practical conference. 2017. pp. 107-111.
9. Gurevich V. I. Vulnerabilities of microprocessor protection relays. Problems and solutions. Moscow, 2014. 256 p.
10. Bogdan A.V., Sobol A. N. Informational signs of damage to the stator winding for constructing relay protection of an autonomous asynchronous generator // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Electro-mechanics. 2017. Vol. 60. No. 6. pp. 72-76.
11. AndreevA.M., Andreev I.A., Lyakhovsky Y.Z. Choosing expert evaluations of diagnostic tests of electric insulation for high-voltage electric machines // Russian Electrical Engineering. 2018. T. 89, no 5, pp. 318-321.
12. Moskalev V. A. Main directions of improvement of relay protection for electric motors // Collection of articles of the Izhevsk State Agricultural Academy. Izhevsk, 2015. pp. 59-60.
13. Yudaev I. V., Volobuev S. V., Feklistov A. S. Improving the efficiency of thermal protection devices for asynchronous motors // Bulletin of Agrarian Science of the Don. 2018. Vol. 4. No. 44. pp. 94-98.
14. Kletsel M. Ya., Novozhilov A. N., Polyakov V. E. Electric three-phase machine with a built-in block for protection from damage to the stator winding // Copyright certificate of the USSR, No. 1046852, 1983).
15. Naumov I. V., Shevchenko M. V., Belousova E. A. Control of the modes of operation of an asynchronous motor in the conditions of asymmetry of the supply network voltage // Sbornik nauchnykh trudov energetika i informatsionnye tekhnologii / Executive editor O. A. Pustovaya. Blagoveshchensk, 2017. pp. 89-96.
16. Antonov V.I., Naumov V.A., Fomin A.I., Soldatov A. V. Adaptive structural analysis of input signals of digital and relay protection and automation // Russian Electrical Engineering. 2015. T. 86. № 7, pp. 391-397.

УДК 620.92

Возможности использования фотоэлектрических панелей малой мощности для нужд индивидуальных потребителей в Республике Крым и городе Севастополь

Д.И.Тиман [1], В.В.Кувшинов [2], Е.Г. Какушина[3], А.М.Олейников [4], Гхашим М.[5]

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, [1]dante477@mail.ru,[2]kuvshinov.vladimir@gmail.com [3]littie@mail.ru, [5]MGkhashim@sevsu.ru

Институт природно-технических систем, ул. Марата, 6, г. Севастополь, 299011, Россия, [4]oma091041@gmail.com

Статья поступила 17.02.2021 г.; после доработки 19.02.2021 г.

Аннотация

Исследования фотоэлектрических панелей проводились при повышенном значении потока солнечной радиации. Для повышения концентрации потока солнечной энергии, преобразовываемой серийными фотоэлектрическими модулями, авторами статьи были применены сравнительно недорогие плоские зеркала, в результате использования которых была значительно повышена эффективность работы солнечных модулей.

Ключевые слова: возможность повышения выработки электроэнергии, сокращение выбросов в атмосферу, фотоэлектрические панели, солнечная радиация, солнечные модули.

Possibilities of using low-power photovoltaic panels for the needs of individual consumers in the Republic of Crimea and the city of Sevastopol

D.I. Timan [1], V.V. Kuvshinov [2], E.G. Kakushina [3], A.M. Oleynikov [4], Ghashim M.[5]

Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, [1]dante477@mail.ru,[2]kuvshinov.vladimir@gmail.com [3]littie@mail.ru, [5]MGkhashim@sevsu.ru

Institute of Natural and Technical Systems, 6 Marata st., Sevastopol, 299011, Russia, [4]oma091041@gmail.com

Received 17.02.2021 y.; received in final form 19.02.2021 y.

Abstract

Studies of photovoltaic panels were carried out at an increased value of the solar radiation flux. To increase the concentration of the solar energy flux converted by serial photovoltaic modules, the authors of the article used relatively inexpensive flat mirrors, as a result of which the efficiency of the solar modules was significantly increased.

Keywords: the possibility of increasing electricity generation, reducing emissions into the atmosphere, photovoltaic panels, solar radiation, solar modules.

Введение

Энергетика большинства стран, также, как и России, как и раньше, базируется в основном на использовании органического топлива с негативным влиянием на окружающую среду.

Работа электростанций и котельных приво-

дит к возникновению ряда негативных процессов:

- загрязнению атмосферы – возникновение кислотных дождей, разрушение зданий, заболеванию лесов.
- загрязнение сточными водами водоёмов, что вызывает их старение.

Деятельность электростанций и котельных приводит к «заболеванию» всей окружающей среды в целом. Всё это негативно сказывается на здоровье и самих людей, увеличивается смертность и частота проявления различных заболеваний, в том числе онкологических.

Внедрение технологий энергосбережения и электроустановок, использующих экологически чистые возобновляемые источники энергии, на локальном уровне в сумме позволит значительно снизить эти негативные явления. И, кроме того, будет способствовать сбережению ресурсов (угля, воздуха, воды, нефти и газа) [1].

Согласно подписанным международным договорам Российская Федерация обязуется сокращать выбросы в атмосферу углекислого газа и других вредных продуктов сгорания органических топлив. Однако генерация электрической энергии в стране постоянно увеличивается, поэтому приходится наращивать производство электроэнергии в том числе за счет внедрения альтернативных возобновляемых источников.

Актуальность темы

Применение солнечных установок для обеспечения индивидуальных и промышленных потребителей электрической энергией позволяет снизить использование природного газа и другого органического топлива, необходимых для производства электроэнергии, а также позволяет существенно сократить вредные выбросы в атмосферу, образующиеся в результате сгорания различных видов топлив на тепловых электростанциях. Использование вместо органических топлив в промышленности и коммунальном хозяйстве солнечных установок позволяет значительно сократить выбросы в атмосферу углекислого газа, уменьшить парниковый эффект и глобальное потепление на планете.

Особо актуально это для крымского региона, не имеющего в достаточном количестве электрических станций. Как известно в Крыму основная доля электроэнергии поступает из других областей России.

Использование фотоэлектрических установок позволяет также сократить потери электроэнергии на линиях электропередачи, которые по разным оценкам составляют от 10 до 20 % [3, 4].

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

При этом кремниевые фотоэлектрические установки могут иметь достаточно долгий срок службы (при хорошем качестве исполнения и правильной эксплуатации их срок службы может достигать 20-40 лет, а по прогнозам и до 100 лет) [2]. Цены на сами солнечные батареи год от года существенно снижаются. Все это позволяет повысить их конкурентоспособность на рынке электрооборудования.

Постановка цели и задач научного исследования

В докладе излагаются результаты исследования, проведенного в Севастопольском государственном университете в Институте ядерной энергетики и промышленности (ИЯЭиП) на кафедре «Возобновляемые источники энергии и электрические системы и сети» (ВИЭЭСС), с целью изучения работы фотоэлектрических модулей. Данная работа проводилась в 2017-2020 годах сотрудниками и аспирантами кафедры ВИЭЭСС.

Задачей авторов доклада являлось исследование серийных фотоэлектрических преобразователей, сборка фотоэлектрических модулей с использованием выпускаемых серийно солнечных элементов, а также использование плоских зеркал в качестве концентраторов солнечного излучения для солнечных батарей.

Конечной целью исследования было рассмотрение путей снижения стоимости солнечных установок, что способствует более быстрому внедрению экологически чистых мощностей для выработки электроэнергии в наш быт.

Одним из направлений снижения себестоимости фотоэлектрических модулей, может являться использование для концентрации светового потока на рабочую поверхность солнечные установок плоских концентраторов.

Основным элементов концентратора, представляющего собой фоклин, являются плоские

зеркала с селективным или не селективным покрытием, расположенные под определенным углом к нормали. Предел концентрации светового потока для плоских фоклинов составляет 3 раза [5, 6]. Себестоимость зеркал на порядок ниже себестоимости фотоэлектрических элементов. Увеличение освещенности в 2-3 раза не требует дополнительного отвода тепла от рабочей поверхности солнечного модуля.

Результаты исследования

Исследования работы солнечных батарей с плоскими концентраторами излучения были проведены на фотоэлектрических модулях, выпускаемых китайскими и российскими производителями.

При увеличении освещенности солнечной батареи ток, вырабатываемый ей, увеличивается в прямой зависимости (рис.1).

Теоретически при больших освещенностях (в десятки раз) ток будет увеличиваться еще сильнее.

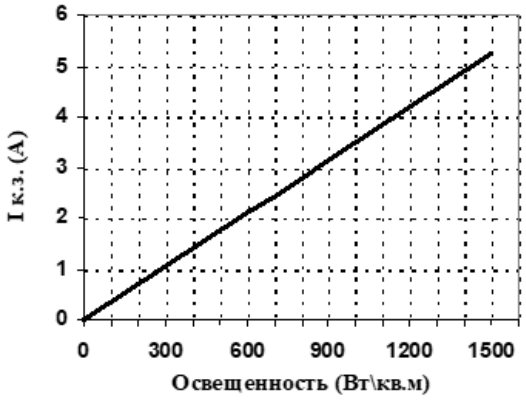


Рис. 1. Освещенность.

При проведении исследований из графиков, приведенных на рис.2-5 видно, что при применении концентраторов светового потока мощность, вырабатываемая фотоэлементом, увеличивалась до 80 % [8]. Напряжение и ток в рабочей точке менялись, причем на*п*ряжение при увеличении освещенности немного падало, что свидетельствует о смещении рабочей точки, а ток и мощность в целом возрастали.

Ниже приведены мощностные характеристики модулей в различное время года.

Большое значение при увеличении мощности имеют геометрические размеры солнечных модулей и плоских зеркал. Так для модуля площадью 0,46 м2 увеличение мощности составляет 35 %, а для модуля площадью 0,12 м2 – до 75 % при одинаковой площади зеркал.

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

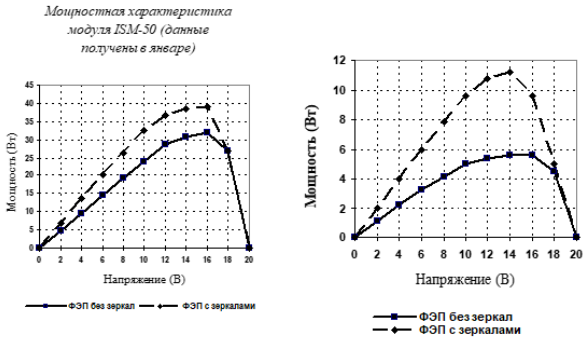


Рис. 2. Вольтамперная и мощностная характеристики фотоэлектрического преобразователя AXR-12 (данные получены в января).

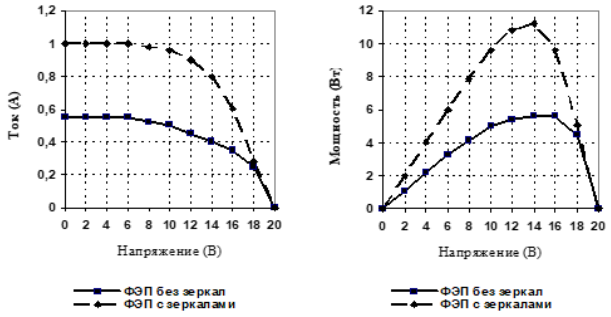


Рис. 3. Вольтамперная характеристика фотоэлектрического преобразователя ISM – 50 (данные получены в марте).

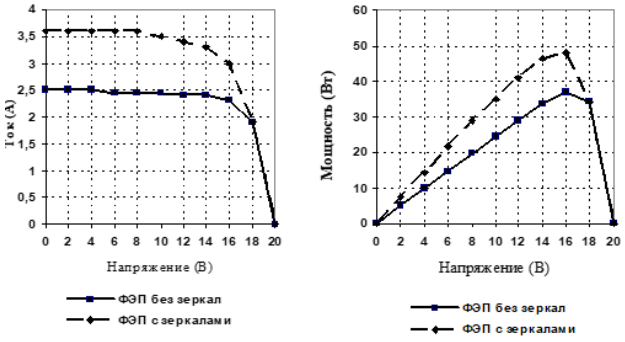


Рис. 4. Вольтамперная характеристика фотоэлектрического преобразователя AXR – 12 (данные получены в марте).

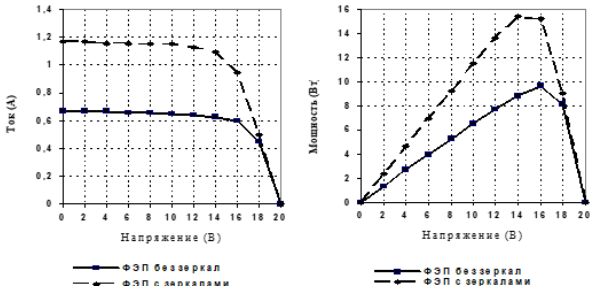


Рис. 5. Вольтамперная характеристика фотоэлектрического преобразователя ISM – 50 (данные получены в апреле).

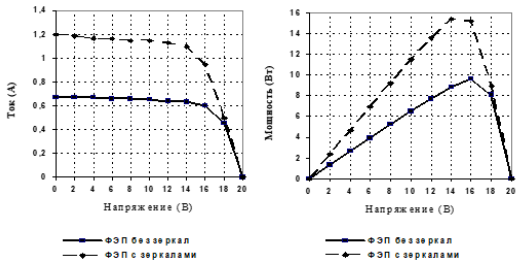


Рис. 6. Вольтамперная характеристика фотоэлектрического преобразователя AXR – 12 (данные получены в апреле).

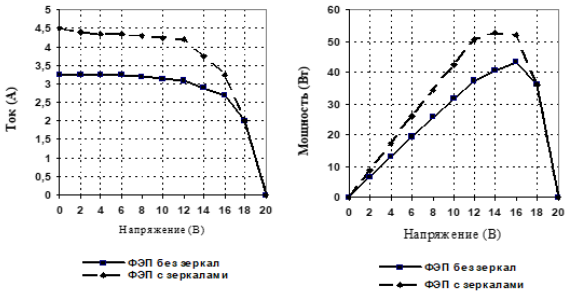


Рис. 7. Вольтамперная характеристика фотоэлектрического преобразователя ISM – 50 (данные получены в мае).

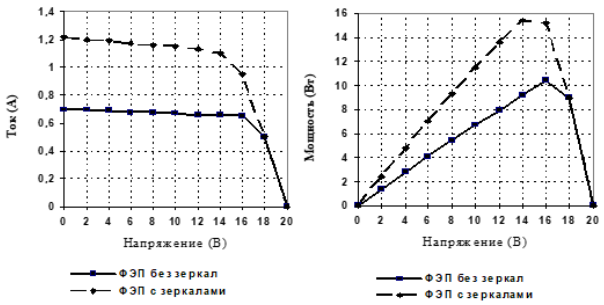


Рис. 8. Вольтамперная характеристика фотоэлектрического преобразователя AXR – 12 (данные получены в мае).

Различие в увеличении мощности для 50-ти и 12-ти ватного элемента (до 35 и до 75 %) объясняется большей концентрацией светового потока на единицу площади приемной поверхности.

Еще одним из направлений научной деятельности нашей кафедры являются исследования, направленные на уменьшение конечной стоимости солнечных батарей. Этого можно достичь, удешевив сам процесс сборки модулей. С заводов можно получать готовые солнечные элементы, рассчитанные на стандартные значения напряжений 0,45-0,6 В, и показатели тока (в зависимости от площади рабочей поверхности элемента) до 3,5 А. С этой целью на нашей кафедре проводилась экспериментальная сборка и полевые испытания собранных солнечных модулей.

Для сборки фотоэлектрического модуля были выбраны солнечные элементы, выпускаемые китайскими и российскими предприятиями. Основой этих модулей являются монокристаллические кремниевые элементы. Расчетное напряжение солнечных элементов в рабочей точке (точке максимальной мощности) 0,5 Вольт. Каждый из модулей состоит из 36 кремниевых элементов. Собранные модули были рассчитаны на напряжение до 18 В и мощность до 18 Вт, 25 Вт, 35 Вт при стандартных условиях.

В результате проведенного нами эксперимента было установлено, что при сборке модулей можно использовать кремниевые пластины с p-n переходом, легированные бором или фосфором, причем сами пластины могут иметь различный тип проводимости, при этом спайка пластин должна проводиться не последовательно, а параллельно [7]. Спайку пластин можно производить медной, серебряной или другой фольгой. Пластины можно крепить на оргстекло или другой материал, покрыв сверху обычным 2-х миллиметровым стеклом или прозрачным оргстеклом.

Результаты исследования

В целом описанные выше исследования показывают, что наладить производство солнечных фотоэлектрических модулей в небольших количествах, используя готовые солнечные элементы можно практически в условиях любой даже небольшой лаборатории, что с успехом и делается во многих странах мира. Например, в США и Австралии ежегодно проводятся автопробеги на солнцемобилях, фотоэлектрические батареи для многих из них сделаны автолюбителями практически в домашних условиях.

Использование предложенных нами недоро-

гих плоских солнечных концентраторов позволяет в 2-3 раза повысить выработку электроэнергии, уже существующими фотоэлектрическими установками, и при этом соответственно сократить цену на единицу их номинальной мощности [9].

При этом для увеличения выработки электроэнергии солнечными батареями не приходится увеличивать производство солнечных элементов, которое само по себе является вредным и сопровождается опасными выбросами в атмосферу. Ниже приведены данные о выбросах, производимых тепловыми электростанциями.

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

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

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

Таблица 2. *Выбросы в атмосферу отходов электростанций мощностью 1 млрд Вт, работающих на разных видах ископаемого топлива, т/год*

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

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

Выводы

Использование описанных выше установок для обеспечения индивидуальных потребителей и промышленных объектов позволяет снизить использование природного газа и другого органического топлива, необходимых для производства электроэнергии, а также позволяет существенно сократить вредные выбросы в атмосферу.

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

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

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

Список литературы

1. Грилихес А. Солнечные космические энергостанции, Л: Наука, 1986 г.
2. Даффи Д. Тепловые процессы с использованием

солнечной энергии. /У.Бекман //М.Мир, 1977г.
3. Лосева И.Г. Оценка динамики снижения мощности источников нетрадиционной и возобновляемой электроэнергии (СЭС, ВЭС, далее - ВИЭ). Использование величины снижения мощности ВИЭ в качестве нормативного возмущения. / Перышкин М.Д., Какушина Е.Г., Решетникова Т.В., Небесный В.В.// Энергетические установки и технологии - 2020. Т. 6. № 4. С. 51-56.
4. 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.
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. 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.
7. 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.
8. Kuvshinov V.V. Storage System for Solar Plants. /Kolomiychenko V.P., Kakushkina E.G. (Erratum Kakushina E.G.), Abd Alia L.M., Kuvshinova V.V. Applied Solar Energy (English translation of Geliotekhnika) Publisher: Pleiades Publishing. 2019 Vol. 55 No 3. P. 153-158.
9. Зайченко В.М. Направления развития энергетики. /Чернявский А.А., Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Абейдулин С.А.// Энергетические установки и технологии. 2019 - Т. 5. № 3. С. 53-61.

References

1. Grilikhes A. Solar Space Power Stations, L: Nauka, 1986.
2. Duffy D. Thermal processes with the use of solar energy.Mir, 1977.
3. Loceva I. G. Evaluation of the dynamics of reducing the power of sources of unconventional and renewable electricity (SES, WPP, hereinafter-RES). The use of the value of the reduction in the power of renewable energy sources as a normative perturbation. / Peryshkin M. D., Kakushina E. G., Reshetnikova T. V., Heavenly V. V. / / Power installations and technologies-2020. Vol. 6. No. 4. pp. 51-56.
4. 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. S. 38-41.
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. S. 90-93.
6. 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.
7. 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.
8. Kuvshinov V.V. Storage System for Solar Plants. /Kolomiychenko V.P., Kakushkina E.G. (Erratum Kakushina E.G.), Abd Alia L.M., Kuvshinova V.V. Applied Solar Energy (English translation of Geliotekhnika) Publisher: Pleiades Publishing. 2019 Vol. 55 No 3. P. 153-158.
9. Zaichenko V.M. Directions of energy development. / Chernyavsky A.A., Kuvshinov V.V., Kakushina E.G., Abeydulin S.A.// Power plants and technologies. 2019 - T. 5. No. 3. P. 53-61.

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

УДК 621.31

Анализ химической дезактивации контуров энергоблоков ВВЭР-440 первого поколения

А.М.Акимов, С.А.Федорова
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33, г. Севастополь, 299053, Россия. AMAkimov@sevsu.ru, , s.a.fedorova@sevsu.ru.

Статья поступила 09.02.2021 г.; после доработки 11.02.2021 г.

Аннотация
Проведен анализ химических дезактиваций первых контуров энергоблоков ВВЭР-440 первого поколения с использованием штатной технологии и технических средств.

Ключевые слова: реактор ВВЭР-440, парогенератор, трубный пучок, коллекторы теплоносителя по контуру, дезактивация.

Analysis of chemical decontamination of the circuits of the first generation VVER-440 power units

A.M. Akimov, S.A. Fedorova
Sevastopol State University, 33 Universitetskayast,, Sevastopol, 299053, Russia
AMAkimov@sevsu.ru, , s.a.fedorova@sevsu.ru.

Received 09.02.2021 y.; received in final form 11.02.2021 y.

Abstract
The analysis of chemical decontamination of the first circuits of the first generation VVER-440 power units was carried out using standard technology and technical means.

Keywords: VVER-440 reactor, steam generator, tube bundle, coolant collectors along the circuit, decontamination.

Введение

Любое исследования мировых энергетических проблем в 21-м веке должно проходить с учетом 2-х основных аспектов:

Во-первых, возможности и проблемы в первой половине 21-го века будут полностью отличными от преобладающих в его второй половине (с ростом мирового населения в качестве определяющего фактора);

Во-вторых, никогда не следует рассматривать энергетику лишь с одной точки зрения,-анализ необходимо осуществлять во взаимодействии с другими важными «Е»; Economy (экономика); Environment (окружающая среда) и, последнее,но не менее важное-Education (образование).

В процессе эксплуатации АЭС с ВВЭР на внутренних поверхностях оборудования и трубопроводов первого контура происходит рост отложений радиоактивных продуктов коррозии. С целью снижения мощности дозы излучения и уменьшения дозовых нагрузок на персонал в периоды проведения контроля металла, технического обслуживания и ремонта трубопроводов и оборудования РУ необходимо удалять радиоактивные отложения посредством дезактивации оборудования первого контура, в основном, ПГ (трубный пучок, коллекторы теплоносителя по

первому контуру) и элементы приводов СУЗ.

Ряд старых энергоблоков АЭС не имел достаточных резервом для предусмотренного новыми нормами радиационной безопасности снижения (в 2,5 раза) лимитов по облучаемости персонала. В то же самое время проводимые на старых энрегоблоках модернизации связаны с увеличением дозозатрат при выполнении работ в зонах повышенного ионизирующего излучения. Программы работ по продлению ресурса реакторного оборудования связаны с дополнительными объемами ремонтно-инспекционных работ. Однако, ряд АЭС все еще в недостаточной степени оснащен автоматизированными и дистанционными средствами диагностики и ремонта реакторного оборудования.

Поэтому в некоторых случаях приходится выполнять химические дезактивации оборудования В первую очередь, это относится к энергоблокам первого поколения перед продлением сроков службы.

Цели и задачи исследования

В условиях эксплуатации АЭС с водяным теплоносителем проявляют себя многие физико-химические проблемы, связанные с обеспечением надежности оборудования и безопасности: коррозия конструкционных материалов в потоке теплоносителя, массоперенос продуктов коррозии, их осаждение, концентрирование примесей, накопление радиоактивных продуктов коррозии и удаление их из контуров.

Поэтому в течение 70 лет, начиная с пуска первой АЭС в Обнинске, остается актуальной проблема создания и поддержания таких физико-химических параметров теплоносителя, которые предотвращали бы коррозионные повреждения материалов оборудования контура. для решения этой проблемы проведено и проводится большое число исследовательских работ по химии воды и исследованию коррозионных процессов различных конструкционных материалов.

Регулярное проведение совещаний и конференций по водяно-химическим режимам и дезактивации оборудования АЭС отражает неослабляющий интерес к этим проблемам во всем мире. Так, по проблемам, связанным с дезактивацией и ВХР АЭС с реакторами ВВЭР, Всемирная ассоциация операторов АЭС (WANO) провела несколько конференций и совещаний: «Использование новых химических технологий при дезактивации оборудования АЭС», 16-20 декаюря 2002 г., НВАЭС, г. Нововоронеж; «Дезактивация парогенераторов АЭС», АЭС Пакш, Венгркия, 05-09 апреля 2004 г.; «Источники образования отложений на ТВС, очистка теплоносителя и оборудования первого контура, отмывка ТВС ВВЭР-440», НВАЭС, 13-15 марта 2007 г.

Вопросы дезактивации рассматривались на протяжении ряда лет: на 8-ой Международной научно-технической конференции «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», Москва, 2012г.; Восьмой межотраслевой научно-технической конференции (Атомэнергоаналитика—2017) «Проблемы и перспективы развития химического и радиохимического контроля в атомной энергетике»; Второй международной научно-практической конференция 23 – 24 сентября «Охрана окружающей среды и обращение с радиоактивными отходами научно-промышленных центров. Вывод из эксплуатации ЯРОО»; XI Российской научной конференции «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях» 27-30 октября 2020г.; на планируемом 24-25 февраля 2021 года в Лондоне Международном саммите "Вывод из эксплуатации и обращение с РАО" [1-3].

Таким образом, объективно возникает ряд проблем, решение которых необходимо для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации АЭС с ВВЭР-440, а именно:

- миграция продуктов коррозии в первом контуре, осаждение их в активной зоне реактора и ПГ при нормальных условиях эксплуатации, в переходных режимах и в период ППР, что вызывает увеличение мощности доз от оборудования первого контура;
- влияние процессов автономный дезактивации с выгрузкой активной зоны на формирование отложений в активной зоне при последующей эксплуатации энергоблоков.

Авторы ставят задачу проведения анализа химической дезактивации контуров энергоблоков ВВЭР-440 первого поколения.

Анализ опыта проведения химической дезактивации первых контуров энергоблоков ВВЭР-440 первого поколения

Анализ опыта проведения химической дезактивации первых контуров энергоблоков ВВЭР-440 первого поколения с использованием штатной технологии и технических средств, разработанных в 1970 - 1980 г.г., показывает, что они не только не обеспечивают проектную эффективность, но и влекут за собой ряд опасных

негативных последствий в течение последующей эксплуатации, включая образование больного количества жидких высокоактивных отходов, коррозионное растравливание метала, рост перепада давления на реакторе [4, 5].

После 10 лет эксплуатации на многих АЭС с ВВЭР 440 наблюдался рост отложений на поверхности активной зоны и, как следствие, повышение перепада давления теплоносителя на реакторе (ПДР) и гидравлического сопротивления реактора.

В последние годы в связи с увеличением срока службы ТВС и степени обогащения топлива эта проблема стала еще более актуальной. Кроме того, одновременно с ростом перепада давления наблюдается рост разгерметизации ТВЭЛов. При этом наблюдается повышение дозозатрат персонала.

При повышении ДПР возрастает неравномерность тепловыделения не только в плоскости реактора, но и в осевом направлении. Снижение теплоотвода от ТВЭЛов приводит к их перегреву и выходу из строя.

Чтобы избежать этого, приходится снижать мощность реактора, что приводит к большим экономическим потерям. Так, в кампании 2008 - 2009 г.г. блока НВАЭС вследствие перегрева одного из ТВЭЛов мощность реактора через 3 месяца поле пуска была снижена до 64% номинальной (рис.1) [6, 7].

Для каждого реактора установлен допустимый порог перепада давления на реакторе, после повышения которого реактор должен быть остановлен.

Одним из способов решения этой проблемы является дезактивация контура ВВЭР вместе с активной зоной для удаления отложений с поверхности АЗ Кроме того, попутно достигается и эффект дезактивации парогенераторов, обследование теплопередающих трубок которых для определения дефектности является одной из наиболее дозозатратных работ при проведении ППР на ВВЭР.

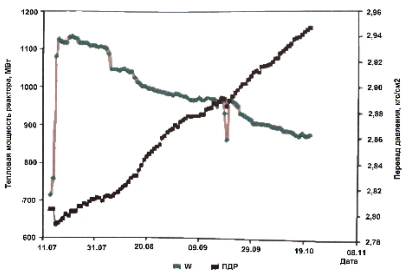


Рис.1. Изменение мощности и перепада давления на реакторе одного из блоков НВАЭС

Химическая дезактивация 10го контура ВВЭР-440 проводится как вместе с ТВС, так и с выгруженной активной зоной (табл. 1). После 2002 г. контурные дезактивации не проводились [4, 7]. На ВВЭР-1000 химическая дезактивация контра регламентом не предусмотрена.

Последствия химической дезактивации

В 1994 г. на блоке 1 реактора ВВЭр-440 НВАЭС после 14 кампаний была проведена дезактивация контура с активной зоной. Примерно через месяц эксплуатации с начала следующей кампании неожиданным образом стали расти температуры на выходе некоторых топливных сборок. Явление было ярко выраженным на 6-ти сборках с циркониевыми дистанционирующими решетками, загруженных в реактор впервые («свежее топливо»). Через 10 недель повышенный рост температуры на большей части сборок вызвал 10% снижение расхода теплоносителя через эти сборки. После 14 недель реактор был остановлен для извлечения перегревающихся ТВС.

Таблица 1. *Дезактивация 1-го контура ВВЭР-400*

АЭС, энергоблок, реактор	Год пуска энергоблока	Год проведения дезактивации	Наличие на внутренней поверхности корпуса реактора коррозионно-стойкой наплавки	Проведение дезактивации первого контура с невыгруженной (+) или выгруженной (-) из реактора активной зоной
НВАЭС ЭБ № 1, Реактор ВВЭР-210	1964	1984	Имеется	+
НВАЭС ЭБ № 2 Реактор ВВЭР-365	1969	1981 1985	Отсутствует	+
АЭС Козлодуй ЭБ № 1, Реактор ВВЭР-440	1974	1993	Отсутствует	+
Ловинса № 2, ЭБ № 3, ВВЭР-440	1980	1994	Имеется	-
АЭС Козлодуй ЭБ № 3, Реактор ВВЭР-440	1980	1994	Имеется	-
НВАЭС ЭБ № 3, Реактор ВВЭР-4400	1971	2001	Отсутствует	-
НВАЭС ЭБ № 4, Реактор ВВЭР-440	1972	2002	Отсутствует	-

Химические дезактивации 1 контура блока 1 в 2001 и блока 2 в 2002 годах на НВАЭС привели к усиленной коррозии конструкционных материалов первого контура и росту содержания продуктов коррозии в контуре, что вызвало рост ПДР в течение кампании до критического уровня.

В ходе кампании отмечалось до двух промежуточных остановов, обусловленных ростом перепада давления. Анализ роста продуктов коррозии после проведения химической дезактивации указал на отсутствие пассивации металлических поверхностей.

Заключение

Анализ результатов химической дезактивации 1 контура АЭС с ВВЭР-440 первого поколения показал, что дезактивация на основе кислотных и щелочных реагентов снижает мощности дозы гамма-излучения и уменьшает дозовые нагрузки на персонал в период проведения технического обслуживания и ремонта трубопроводов и оборудования РУ. Вместе с тем, дезактивация приводит к усилению коррозии конструкционных материалов первого контура и росту содержания продуктов коррозии в контуре.

В связи с отсутствием пассивации металлических поверхностей после проведения химической дезактивации – последняя в настоящее время, как правило, не проводится, а дезактивацию парогенераторов проводят с остаточной активной зоной.

Список литературы

1. 8-я международная научно-техническая конференция «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР» http://www.gidropress.podolsk.ru/ru/conferences/mntk2013.php (Дата обращения 01.12.2020 г.)
2. Проблемы и перспективы развития химического и радиохимического контроля в атомной энергетике. Тезисы докладов Восьмой межотраслевой научно-технической конференции (Атомэнергоаналитика—2017), 30 мая—1 июня 2017 г., г. Сосновый Бор: Изд-во ВВМ, 2017. — 211 с.
3. Конференции. Атомная энергия 2.0. https://www.atomic-energy.ru /events/konferentsiya(Дата обращения 01.12.2020 г.)
4. Обобщение и анализ опыта дезактивации и первого контура энергоблоков ВВЭР с учетом нарушения в работе энергоблока № 2 АЭС Пакис 10.-4.2003 и других негативных последствий на отечественных и зарубежных АЭС / Отчет, Авт. Тянков В.Ф., Юрманов В.А. // М.: ОАО «ВНИИАЭС», 118с.
5. Крицкий В.Г., Царев В.В., Прохоров Н.А., Шибков С.Н. и др. Анализ эффективности работы высокотемпературного механического фильтра на действующих АЭС с ВВЭР-100. Теплоэнергетика, № 7, июль1992, С.15-20.
6. Крицкий В.Г. и др. (ФГУП ГН ВНИПИЭТ) Санкт-Петербург /влияние дезактивации оборудования 1-го контура ВВЭР-400 на перепад давления в реакторе и формирование дозовых полей // 3-я научно-техническая конференция «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», Подольск, 26 – 30 мая 2003. – Т.6. – С.146 – 152.
7. Крицкий В.Г., Родионов Ю.А., Березина Н.Г., Зеленина Е.В., Гаврилов А.В., Щукина А.П., Федоров А.И., Щедрин М.Г., Галанин А.В. Государственная корпорация по атомной энергии «РОСАТОМ», АОА «Восточно-Европейский головной научно-исследовательский и проектный институт энергетических технологий (ОАО головной институт «ВНИИПИЭТ»). – Санкт-Петербург, ООО «Береста», 2011. – 308с.

References

1. 8-ya mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya kon-ferenciya «Obespechenie bezopasnosti AES s VVER» http://www.gidropress.podolsk.ru/ru/ conferences/mntk2013.php (Data obrashcheniya 01.12.2020 g.)
2. Problemy i perspektivy razvitiya himichesko-go i radiohimicheskogo kontrolya v atomnoj energetike. Tezisy dokladov Vos'moj mezhotraslevoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii (Atomenergoana-litika—2017), 30 maya—1 iyunya 2017 g., g. Sosnovyj Bor: Izd-vo VVM, 2017. — 211 s.
3. Konferencii. Atomnaya energiya 2.0. https://www.atomic-energy.ru/events/ konferentsiya(Data obrashcheniya 01.12.2020 g.)
4. Obobshchenie i analiz opyta dezaktivacii i pervogo kontura energoblokov VVER s uchetom narusheniya v rabote energobloka № 2 AES Pakis 10.-4.2003 i drugih negativnyh posledstvij na otechestvennyh i zarubezhnyh AES / Otchet, Avt. Tyankov V.F., YUrmanov V.A. // M.: OAO «VNIIAES», 118s.
5. Krickij V.G., Carev V.V., Prohorov N.A., SHibkov S.N.idr.Analiz effektivnosti raboty vysokotemperaturnogo mekhanicheskogo fil'tra na dejstvuyushchihAES s VVER-100. Teploener getika, № 7, iyul'1992, S.15-20.
6. Krickij V.G idr. (FGUP GN VNIPIET) Sankt-Peterburg /vliyanie dezaktivacii oborudova-niya 1-go kontura VVER-400 na perepad davleniya v reaktore i formirovanie dozovyh polej // 3-ya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya «Obes pechenie bez-opasnosti AES s VVER», Podol'sk, 26 – 30 maya 2003. – T.6. – S.146 – 152.
7. Krickij V.G., Rodionov YU.A., Berezina N.G., Zelenina E.V., Gavrilov A.V., SHCHukina A.P., Fedorov A.I., SHCHedrin M.G., Galanin A.V. Gosudarstvennaya korporaciya po atomnoj energii «ROSATOM», AOA «Vostochno-Evropejskij golovnoj nauchno-issledovatel'skij i proektnyj institut energeti-cheskih tekhnologij (OAO golovnoj institut «VNIIPIET»). – Sankt-Peterburg, OOO «Beresta», 2011. – 308s.

УДК 628.35

К вопросу сбора, очистки и использования поверхностных стоков в городской среде

А.М.Акимов, С.А.Федорова, А.И. Федотова, Е.С.Дудкина
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33, г. Севастополь, 299053, Россия. AMAkimov@sevsu.ru, s.a.fedorova@sevsu.ru

Статья поступила 20.02.2021 г. после доработки 24.02.2021 г.

Аннотация
Рассмотрены общие характеристики поверхностны (ливневых) стоков, причины их очистки и рекомендации по использованию в городской среде.

*Ключевые слова:*ливневые стоки, источники загрязнения сточных вод, автомойка, нефтепродукты, взвешенные вещества, технологическая схема очистки, коагуляция, экологическое состояние

On the issue of collection, treatment and use of surface runoff in the urban environment

A.M. Akimov, S.A. Fedorova, A.I. Fedotova, E.S. Dudkina
Sevastopol State University, 33 Universitetskayast,, Sevastopol, 299053, Russia
AMAkimov@sevsu.ru, s.a.fedorova@sevsu.ru

Received 20.02.2021 y.; received in final form 24.02.2021 y.

Abstract
The general characteristics of surface (storm) effluents, the reasons for their treatment and recommendations for use in an urban environment are considered.

Keywords: storm drains, sources of wastewater pollution, car wash, oil products, suspended solids, technological and logical treatment scheme, coagulation, ecological state

Введение

Атмосферные осадки, выпадающие на поверхность земли сверх объема, который земля может впитать, называются ливневыми поверхностными сточными водами. К ним, в первую очередь, относят талые и дождевые потоки, стекающие со зданий, твердых покрытий и газонов промышленных предприятий и населенных пунктов. Поверхностный сток несет в себе большую угрозу экологии, т.к. по сути, к водоему он собирает загрязняющие вещества с полей, лесов, дорог, асфальтных и бетонных площадок, домов, промышленных предприятий и превращается в загрязненный поток, в котором можно наблюдать всю таблицу Д.И. Менделеева. Основной состав - нефтепродукты и взвешенные вещества. Присутствие остальных негативных элементов незначительно. Водным законодательством РФ запрещается сбрасывать в водные объекты неочищенные до установленных нормативов дождевые, талые и поливомоечные воды, образующиеся на селитебных территориях и площадках предприятий. На территории города Севастополя отсутствует единая централизованная сеть ливневой канализации, а имеются лишь отдельные небольшие участи сетей ливневой канализации [1].

Отсутствие централизованной сети ливневой канализации подразумевает сброс поверхностных стоков в бухты Севастополя и Черное моле в большинстве случаев даже без предварительной очистки (рис.1,2).



Рис.1. Большая лужа по ул. Александера, новый ремонт, 14.04.2019г., г. Севастополь



Рис.2. Потоп в Севастополе, Артбухта, 27.06.2016г.

В связи с вышеизложенными, вопросам проектирования, расчету основных параметров инженерных сооружений дождевой канализации, включая коллекторную сеть и очистные сооружения, должно уделяться особое внимание в соответствии с водным законодательством РФ. Очищенные воды поверхностных стоков можно направлять на полив в парковых зонах, полив городских магистралей и жаркое время года, мойку автомобилей.

Учитывая территориальное расположение населенных пунктов, особенно таких городов как Севастополь, наряду с созданием централизованной сети ливневой канализации целесообразно создавать и автономное системы сбора и очистки поверхностных стоков.

Расчет среднегодовых объемов сточных вод

Среднегодовой объем поверхностных сточных вод, образующихся на селитебных территориях и площадках предприятий в период выпадения дождей, таяния снега и мойки дорожных покрытий, определяется по формуле:

$$W_г = W_д + W_т + W_м \quad (1)$$

где: $W_д$,$W_т$,$W_м$ - среднегодовые объемы дождевых, талых и поливомоечных вод, м^3.

Среднегодовой объем дождевых $W_д$ и талых $W_т$ вод, стекающих с селитебных территорий и промышленных площадок, определяются по формулам:

$$W_д = 10 \cdot h_д \cdot \psi_д \cdot F \quad (2)$$

$$W_т = 10 \cdot h_т \cdot \psi_т \cdot F \cdot К_\gamma \quad (3)$$

где: 10 - переводной коэффициент;

F - общая площадь стока, га;

$h_д$ и $h_т$ - слой осадка за теплый и холодный период года соответственно, мм, определяется по таблицам СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» [2];

$\psi_д$ и $\psi_т$ - общие коэффициенты стока дождевых и талых вод соответственно;

$К_\gamma$ - коэффициент, учитывающий частичный вывоз и уборку снега.

При определении среднегодового количества дождевых вод $W_д$, стекающих с селитебных территорий, общий коэффициент стока $\psi_д$ для общей площади стока F рассчитывается как средневзвешенная величина из частных значений для площадей стока с разным видом поверхности, согласно таблице 1.

***Таблица 1**. Значения общего коэффициента стока от вида поверхности или площади сток*

Вид поверхности или площади стока	**Общий коэффициент стока, $\psi_д$**
Кровли и асфальтобетонные покрытия	0,6 - 0,7
Булыжные и щебеночные мостовые	0,4 - 0,5
Кварталы города без дорожных покрытий, небольшие скверы, бульвары	0,2 - 0,3
Газоны	0,1
Кварталы с современной застройкой	0,4 - 0,5
Средние города	0,4 - 0,5
Небольшие города и поселки	0,3 - 0,4

Общий объем поливомоечных вод $W_м$, м^3, стекающих с площади водосбора, определяется по формуле:

$$W_м = 10 \cdot m \cdot k \cdot F_m \cdot \psi_м \quad (4)$$

где: 10 - переводной коэффициент;

m - удельный расход воды на мойку дождевых покрытий; при механизированной уборке принимается 1,2 - 1,5 л/м^2 на одну мойку [3], при ручной - 0,5 л/м^2;

k - среднее количество моек в году для средней полосы РФ составляет 100 - 150;

F_m - площадь твердых покрытий, подвергающихся мойка, га;

$\psi_м$ - коэффициент стока для поливомоечных вод (принимается 0,5).

Среднегодовой объем дренажных (инфильтрационных) вод $W_{др}$, м^3/год, поступающих в систему дождевой канализации, следует определять на основе специальных изысканий, а также посредством замеров поступления воды в коллекторную сеть в сухую погоду. Вычисление среднегодового объема дренажных вод $W_{др}$, м^3/год, при известном удельном притоке дренажных (инфильтрационных) вод следует осуществлять по формуле:

$$W_{др} = \frac{q_{уд} \cdot F \cdot T}{1000} \quad (5)$$

где: $q_{уд}$ -удельный расход дренажного стока, л/сек с 1 га;

F - площадь стока, га;

T - время работы дренажной системы в течение года, сек.

Расчет объемов дождевых сточных вод, отводимых на очистку

Объем расчетного дождя $W_{ос.д.}$, м^3, который полностью направляется на очистные сооружения, определяется по формуле:

$$W_{ос.д} = 10 \cdot h_а \cdot \psi_{mid} \cdot F, м^3, \quad (6)$$

Где: 10 - переводной коэффициент;

$h_а$ - максимальный суточный слой осадков, мм, образующихся за дождь, сток от которого подвергается очистке в полном объеме (расчетный дождь);

ψ_{mid} -средний коэффициент стока для расчетного дождя, определяется как средневзвешенная величина в зависимости от постоянных значений коэффициентастока ψ_i для разного вида поверхностей;

F - общая площадь территории водосбора, га.

В качестве исходных данных для расчета $h_а$ используются статистически обработанные данные многолетних наблюдений метеостанций (не менее чем за 10 - 15 лет) за атмосферными осадками в конкретной местности или на ближайших репрезентативных метеостанциях. При отсутствии указанных данных рекомендуется применять статистически обработанные данные многолетних наблюдений, приведенные в научно-прикладном справочнике по климату [4].

В городе Севастопольмесячная годовая сумма осадков (мм) по данным наблюдения за период 2014 - 2017 г.г.приведена в таблице 2 [1].

Таблица 2. *Месячная годовая сумма осадков (мм) по данным наблюдения в г. Севастополе за период 2014 - 2017 г.г.*

Год	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Итог
2014	46,7	19,3	13,8	9,1	12,5	63,2	1,3	8,3	53,5	22,8	9,8	59,0	319,3
2015	59,0	50,5	50,8	24,2	36,1	73,6	5,3	12,4	2,1	54,9	27,8	4,0	400,7
2016	44,7	43,4	18,1	20,7	12,6	33,2	25,5	12,7	2,2	73,7	33,1	61,3	381,2
2017	51,4	22,5	46,9	38,1	51,6	29,6	19,9	34,9	1,2	50,0	36,7	36,8	419,3

Средний коэффициент стока ψ_{mid} определяется как средневзвешенная величина в зависимости от постоянных коэффициентов дождевого стока ψ_{id} с разного вида покрытий поверхности по формуле:

$$\psi_{mid} = \frac{\sum F_i \cdot \psi_{id}}{F} \quad (7)$$

где: F_i- площадь участка канализуемой территории с соответствующим видом покрытия, га;

F - общая площадь водосборного бассейна, га;

ψ_{id} - постоянный коэффициент дождевого стока для соответствующего вида покрытия.

Значение коэффициента дождевого стока для различных видов покрытия (видов поверхностного стока) приведены в таблице 3 [5].

Таблица 3*. Значения коэффициента дождевого стока для различных видов покрытия (видов поверхностного стока)*

Вид поверхности стока	**Постоянный коэффициент стока, ψ_{id}**
Водонепроницаемые поверхности (кровли и асфальтобетонные покрытия)	0,95
Брусчатые мостовые и щебеночные покрытия	0,6
Булыжные мостовые	0,45
Щебеночные покрытия, не обработанные вяжущими материалами	0,4

Гравийные садово-парковые дорожки	0,3
Грунтовые поверхности (спланированные)	0,2
Газоны	0,1

Расчет производительности очистных сооружений накопительного типа

Так как атмосферные осадки в г. Севастополе в основном характеризуются дождями - рассмотрим вариант расчета производительности очистных сооружений накопительного типа.

Производительность очистных сооружений по дождевому стоку $Q_{ос.д}$, л/с, определяется по формуле:

$$Q_{ос.д} = \frac{W_{ос.д}+W_{тп}}{3{,}6\cdot(T_{оч}-T_{отст}-T_{тп})},\ (л/с\ \ с\ га) \qquad (8)$$

где: $W_{ос.д}$ - объем стока от расчетного дожде, м^3, отводимого на очистные сооружения - объем расчетного дождя;

$W_{тп}$ - суммарный объем загрязненных вод, образующихся при обслуживании технологического оборудования очистных сооружений в течение нормативного периода переработки объема стока от расчетного дождя, м^3;

3,6 - переводной коэффициент;

$T_{оч}$ - нормативный период переработки объема стока от расчетного дождя, отводимого на очистные сооружения, ч;

$T_{отст}$ - суммарная продолжительность технологических перерывов в работе очистных сооружений в течение нормативного периода переработки объема стока от расчетного дождя, отводимого на очистные сооружения, ч;

$T_{тп}$ - минимальная продолжительность отстаивания стока в аккумулирующем резервуаре, ч.

Основываясь на данных многолетних наблюдений из средней продолжительностью периодов между стокообразующими дождями нормативный период переработки объема стоков от расчетного дождя $T_{оч}$ (период опорожнения аккумулирующего резервуара) рекомендуется принимать в пределах 2 - 3 суток. В отдельных случаях этот период может быть увеличен на основании достоверных статистически обработанных данных многолетних наблюдений за характером выпадающих дождей и продолжительностью интервала сухой погоды в конкретных местности.

Продолжительность отстаивания стоков $T_{отст}$ определяется исходя из величины гидравлической крупности выделяемых в аккумулирующем резервуаре частиц механических примесей и гидравлической глубины резервуара при его максимальном расчетном заполнении. При использовании аккумулирующего резервуара только для регулирования расхода отводимых на очистку сточных вод величина продолжительности предварительного отстаивания $T_{отст}$ при расчете по формуле (8) исключается.

Выбор типа очистных сооружений ливневых стоков

При проектировании систем отведения и очистки поверхностных сточных вод рекомендуется использовать очистные сооружения накопительного типа, как наиболее полно соответствующие базовым техническим требованиям, положениям действующих в РФ нормам, правилам и условиям выпуска очищенных сточных вод в водные объекты или использование в системах производственного водоснабжения.

При проектировании очистных сооружений накопительного типа регулирование расхода и усреднение состава подаваемых на очистку сточных вод производятся в аккумулирующих резервуарах. Схема и гидрограф гидравлического режима работы очистных сооружений накопительного типа представлены на рис.3 [5].



Рис.3. Схема и гидрограф гидравлического режима работы очистных сооружений накопительного типа: Q - расход дождевых вод в расчетном створе подводящего коллектора; Т - время от начала дождя; $Q_{ос}$ - проектная производительность сооружений глубокой очистки

Подача сточных вод из аккумулирующих резервуаров на глубокую очистку производится равномерно с постоянным расходом $Q_{ос.д}$, который определяется по формуле (8).

Для селитебных территорий в очистных сооружениях накопительного типа обеспечивается прием в аккумулирующий резервуар и последу-

ющее отведение на глубокую очистку всего объема стоков от часто повторяющихся малоинтенсивных дождей, а также наиболее концентрированной части стока от высокоинтенсивных (ливневых) дождей.

Разделение стока на загрязненную и условно чистую части производится в разделительной камере, устраиваемой во входной части аккумулирующего резервуара или на самотечном трубопроводе непосредственно перед аккумулирующим резервуаром.

К сожалению, ограниченный объем статьи не позволяет рассмотреть технологию очистку сточных вод с селитебных территорий. Отметим лишь отдельные примеры использования очищенных стоков. Так, очищенные дождевые стоки могут быть использованы для полива парковых зон, полива улиц или помывки автотранспорта.

Очистка сточных вод автомоек

Очищенные дождевые стоки для автомоек могут быть использованы для первичного заполнения оборотной системы водоснабжения предприятий, а также для восполнения потерь. Сточные воды мойки автомашин содержат взвешенные вещества минерального характера, органические загрязнения в растворенном виде, нефтепродукты, тяжелые металлы СПАВ, реагенты, используемые для очистки дорог ото льда и снега. Фактически это производственный сток с разноплановыми загрязняющими компонентами. В соответствии со справочными данными среднегодового количества загрязнений в сточных водах автомоек, приходящихся на один автомобиль длиной не более 6 м и 2 м в ширину, при эксплуатации его на асфальтированном покрытии принимается: по взвешенным веществам 700 мг/л, по нефтепродуктам - 75 мг/л.

По данным [6] показатели очистки сточных вод автомоек приведены в табл.4.

Технологическая схема очистки оборотного водоснабжения [7,8] автомоек представлена на рис.4.

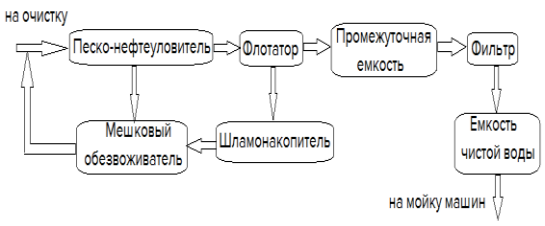


Рис.4. Технологическая схема очистки воды после автомоек.

Таблица 4. *Показатели очистки сточных вод автомоек*

Показатели	Исходная сточная вода	Очищенная вода				
		Рециркуляция 70%. Доза коагулянта 50 мг/л	Рециркуляция 100 %		Норматив для оборотной системы водоснабжения	ПДК ливневой сети
			Доза коагулянта 50 мг/л	Доза коагулянта 75 мг/л		
pH	7,2…8,1	7,3	7,2	7,8	—	6,5…8,5
Взвешенные в-ва, мг/л	64,8…80,6*	6,5	15,4	10,5	40,0	10,75
Нефтепродукты, мг/л	4,1…7,8	0,07	0,31	0,16	15,0	0,05
БПК 5, мгO_2/л	54,3…75,0	2,1	5,6	3,0	—	3,0
ХПК, мгO_2/л	135,7…217,5	15,0	32,5	26,7	—	30,0
Хлориды, мг/л	65…100	74,0	58,1	52,8	—	30,0
Сульфаты, мг/л	27…60	16,5	44,3	22,0	—	10,0
Железо общ, мг/л	0,22…0,6	0,08	0,31	0,15	—	0,1
Cr^{+6}, мг/л	0,023…0,035	0,01	0,02	0,02	—	0,02
Медь, мг/л	0,005…0,008	<0,001	0,0035	0,016	—	0,001
Свинец, мг/л	0,02…0,053	0,017	0,029	0,027	—	0,006
Цинк, мг/л	0,015…0,03	0,007	0,02	0,011	—	0,01
СПАВ, мг/л	1,9…3,4	1,2	2,7	1,8	—	—

Заключение

Рассмотрены основные принципы сбора поверхностных стоков на селитебных территориях в целях снижения вредного воздействия и предотвращения загрязнений водных объектов. Приведен математический аппарат, позволяющий определить объем ливневых стоков. Уделено внимание технологии очистке загрязненных поверхностных стоков и использование очищенных вод для целей производственного водоснабжения, обводнения или орошения. Перспективные технологии очистки ливневых стоков в интересах защиты гидросферы окружающей среды авторы предполагают рассмотреть в дальнейших публикациях.

Список литературы

1. Постановление Правительства Севастополя от 27.12.2019 № 696 – П.П. https://sev.gov.ru/docs/253/98882/(Дата обращения 11.01.2021г.)
2. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99. Строительная климатология. http://docs.cntd.ru/document/ 1200095546/(Дата обращения 11.01. 2021г.)
3. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84. http://docs.cntd.ru/document/1200093820 /(Дата обращения 11.01.2021г.)
4. Научно-прикладной справочник по климату

СССР, серия 3 «Многолетние данные», части 1-6, Вып. 10. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1990. — 605 с.
5. Рекомендации по расчету систем сбора и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты /Ю.А. Меншутин, к.т.н. ЛМ. Верещагина, к.т.н. А.С. Керни, Е.В. Фомичёва, А.Ю. Логунова. М.: ОАО НИИ ВОДГЕО – 2015 – 146с.
6. Гогина Е.С., Саломеев В.П., Побегайло Ю.П. Решение проблемы очистки сточных вод от автомоек и транспортных предприятий // Вестник МГСУ_12/2012 https://clck.ru/T 2yAW (Дата обращения 10.01.2021г.)
7. Проектирование и применение локальных очистных сооружений поверхностного стока на основе фильтров ФОПС. С. Петербург: НПГ «Аква-Венчур» - 2017 – 177с.
8. Венрикова Е.В., Терещенко Е.А. и др. Особенности очистки воды от нефтепродуктов с использованием нефтяных сорбентов, фильтрующих материалов и активированных углей – JournalofSiberianFederalUniversity. Chemistry, 2010 - № - С.258-304. https://clck.ru/T 2yC4 (Дата обращения 11.01.2021г.)

References

1. Postanovlenie Pravitel'stva Sevastopolya ot 27.12.2019 № 696 – P.P. https://sev.gov.ru/docs/253/ 98882/(Data obrashcheniya 11.01.2021g.)
2. SP 131.13330.2012. Stroitel'naya klimatologiya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23-01-99. Stroitel'naya klimatologiya. http://docs.cntd.ru/document /1200095546/ (Data obrashcheniya 11.01.2021g.)
3. SP 31.13330.2012. Vodosnabzhenie. Naruzhnye seti i sooruzheniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.04.02-84. http://docs.cntd.ru/document/ 1200093820 /(Data obrashcheniya 11.01.2021g.)
4. Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR, seriya 3 «Mnogoletnie dannye», chasti 1-6, Vyp. 10. L.: Gidrometeorologicheskoe izdatel'stvo, 1990. — 605 s.
5. Rekomendatsii po raschetu sistem sbora i ochistki poverkhnostnogo stoka s selitebnykh territoriy, ploshchadok predpriyatiy i opredeleniyu usloviy vypuska ego v vodnye ob"ekty /Yu.A. Menshutin, k.t.n. LM. Vereshchagina, k.t.n. A.S. Kerni, E.V. Fo-micheva, A.Yu. Logunova. M.: OAO NII VODGEO – 2015 – 146s.
6. Gogina E.S., Salomeev V.P., Pobegaylo Yu.P. Reshenie problemy ochistki stochnykh vod ot avtomoek i transportnykh predpriyatiy // Vestnik MGSU_12/2012 https://clck.ru/T2y AW (Data obrashcheniya 10.01.2021g.)
7. Proektirovanie i primenenie lokal'nykh ochistnykh sooruzheniy poverkhnostnogo stoka na os-nove fil'trov FOPS. S. Peterburg: NPG «Akva-Venchur» - 2017 – 177s.
8. Venrikova E.V., Tereshchenko E.A. i dr. Oso-bennosti ochistki vody ot nefteproduktov s ispol'-zovaniem neftyanykh sorbentov, fil'truyushchikh mate-rialov i aktivirovannykh ugley – JournalofSiberian-FederalUniversity. Chemistry, 2010 - № - S.258-304. https://clck.ru/T2y C4 (Data obrash-cheniya 11.01.2021g.)

УДК 621.31

Определение критериев проведения дезактивации оборудования

А.М.Акимов, С.А.Федорова
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33, г. Севастополь, 299053, Россия. AMAkimov@sevsu.ru, s.a.fedorova@sevsu.ru

Статья поступила 25.02.2021 г.; после доработки 26.02.2021 г.

Аннотация
Рассмотрение критерия принятия решения о необходимости проведения дезактивации оборудования на основе принципа ALARA.

Ключевые слова: водо-водяной энергетический реактор, парогенератор, дезактивация, дозозатраты, активированные продукты коррозии.

Theoretical foundations of membrane separation of gas mixtures

A.M. Akimov, S.A. Fedorova
Sevastopol State University, 33 Universitetskayast,, Sevastopol, 299053, Russia
AMAkimov@sevsu.ru, s.a.fedorova@sevsu.ru

Received 25.02.2021 y.; received in final form 26.02.2021 y

Abstract
Processes caused by a concentration or pressure gradient over the thickness of porous or non-porous membranes based on polymers or materials with a rigid structure are considered.

Keywords:membranes, diffusion-membrane processes, membrane gas separation, sorption, diffusion, desorption.

Введение

В условиях эксплуатации АЭС с водным теплоносителем проявляют себя многие физико-химические проблемы, связанные с обеспечением надежности оборудования и безопасности: коррозия конструкционных материалов в потоке теплоносителя, массоперенос продуктов коррозии, их осаждение, концентрирование примесей, накопление радиоактивных продуктов коррозии и удаление их из контуров.

Регулярное проведение конференций по водяно-химическим режимам и дезактивации оборудования АЭС отражает неослабляющий интерес к этим проблемам во всем мире. Так, по проблемам, связанным с дезактивацией и ВХР АЭС с реакторами ВВЭР, Всемирная ассоциация операторов АЭС (WANO) провела несколько совещаний: «Использование новых химических технологий при дезактивации оборудования АЭС», 16-20 декабря 2002 г., НВАЭС, г. Нововоронеж; «Дезактивация парогенераторов АЭС», АЭС Пакш, Венгрия, 05-09 апреля 2004 г.; «Источники образования отложений на ТВС, очистка теплоносителя и оборудования первого контура, отмывка ТВС ВВЭР-440», НВАЭС, 13-15 марта 2007 г.

Вопросы дезактивации рассматривались на протяжении ряда лет: на 8-ой Международной научно-технической конференции «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», Москва, 2012г.; Восьмой межотраслевой научно-технической конференции (Атомэнергоаналитика—2017) «Проблемы и перспективы развития химического и радиохимического контроля в атомной энергетике»; Второй международная научно-практическая конференция 23 – 24 сентября «Охрана окружающей среды и обращение с радиоактивными отходами научно-промышленных центров. Вывод из эксплуатации ЯРОО»; XI

Российской научной конференции «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях» 27-30 октября 2020г.; на планируемом 24-25 февраля 2021 года в Лондоне Международном саммите "Вывод из эксплуатации и обращение с РАО" [1-3].

Каждый тип АЭС требует индивидуального подхода к выбору ВХР в соответствии с технологической схемой и параметрами теплоносителя. Однако, возможны общие подходы и методы решения некоторых проблем.

Поведение радиоактивных продуктов коррозии, таких как ^{60}Co, в системах циркуляции теплоносителя в реакторных установках – одна из наиболее важных проблем, которая требует решения в целях обеспечения безопасности и надежности работы установок.

Практика эксплуатации АЭС показала, что несмотря на некоторое улучшение радиационной обстановки и дозовых затрат персонала в ходе длительной эксплуатации блоков (за счет организации ремонта, накопления практики эксплуатации, повышения квалификации персонала), имеется необходимость в проведении периодических дезактиваций.

В последние годы в связи с увеличением срока службы ТВС и степени обогащения топлива наблюдался рост отложений на поверхности активной зоны и, как следствие, увеличение гидравлического сопротивления активной зоны реактора. Кроме того, в связи с увеличением срока службы ТВС и выгорания наблюдается рост отложений и, как следствие, рост разгерметизации ТВЭлов. При этом повышаются дозозатраты персонала.

Таким образом, объективно возникает проблем, решение которой необходимо для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации АЭС с ВВЭР-400, а именно – влияние процессов автономной дезактивации ПГ и контурной дезактивации с выгрузкой активной зоны на формирование отложений в активной зоне при последующей эксплуатации энергоблоков.

Обеспечение безопасности при производстве ремонтных работ в общем смысле – это снижение дозовых затрат с учетом экономических факторов: стоимости дезактивации, количества привлекаемого ремонтного персонала внешних организаций. Численность персонала станции, занятых в инспекционном обследовании и ремонте оборудования, времени и объема работ.

Методы снижения радиационных полей, дозовых нагрузок представляют собой многофакторную проблему, включающую как организацию производства и работ, проводимых на остановленном энергоблоке, так и научные и конструкторские проработки технологий удаления отложений [4]. Для обеспечения принципа оптимизация (принципа FKFRA в зарубежных публикациях) следует сформулировать критериальные оценки эффективности предлагаемых мероприятий и технологий по принципу доза – экономический эффект, нормированные соответствующим образом для обеспечения сравнения различных мероприятии и методов.

Постановка цели и задачи научного исследования

Обеспечение безопасности при производстве6 ремонтных работ в общем случае – это снижение дозовых затрат с учетом экономических факторов: стоимости дезактивации, количества привлекаемого ремонтного оборудования, времени и объема работ.

Парогенераторы являются наиболее ответственным элементов АЭС с ВВР, замена которых сопряжена со значительными затратами, поэтому их надежной эксплуатации уделяется повышенное внимание.

Для обеспечения надежной эксплуатации парогенераторов в течение топливных кампаний должен выполняться большой объем ремонтных и диагностических работ в периоды ежегодных стоянок для перегрузки топлива. Наиболее значительный вклад в коллективные дозозатраты персонала в периоды ремонтных стоянок вносят работы на парогенераторах, включая дезактивацию (химические отмывки, инспекции и ремонт).

Необходимость минимизации доз облученного персонала при проведении дезактивационных и ремонтных операций на парогенераторах ставит задачу исследования расчета дозозатрат при выполнении работ в поле ионизирующего излучения.

Результаты и обсуждение

Принятие решения о необходимости проведения дезактивации оборудования проводится на основе принципа ALFRA.

Дозозатраты D_0 на выполнение работы в поле ионизирующего излучения рассчитываются по формуле:

$$D_0 = \sum_{i=1}^{N} P_i^0 T_i \quad (1)$$

где N - число ремонтных операций;

P^0_i - прогнозируемая мощность дозы на i-том рабочем месте без проведения дезактивации;

T_i - трудозатраты на выполнение ремонтных или инспекционных операций.

Дозовый резерв АЭС рассчитывается по формуле [1]:

$$D_P = 20 \cdot M - \sum_{i=1}^{M} D_i \quad (2)$$

где M - число персонала, принимающего участие в ремонтных работах;

20 - допустимая годовая индивидуальная доза;

D_i - доза, полученная работником на момент перед ремонтом, мЗв.

Полностью использовать весь дозовый ресурс нельзя, так как в силу случайного распределения доз по величине определенная доля персонала будет облучена в дозе выше 20мЗв. Кроме того, следует учитывать последующее после ремонта облучение работник до конца года. Авторами работ [5,6] рекомендуется применять плановый коэффициент использования дозового ресурса β, а дозовый ресурс подразделять на планово-расходуемую часть DAи запас D3. Величина дозового запаса определяется, исходя из практики АЭС:

$$D_A + D_З = \beta D_P \quad (3)$$

Плановый коэффициент использования дозового ресурса должен устанавливаться из опыта эксплуатации АЭС и должен быть настолько малым, насколько это экономически целесообразно. В работах [4,5] для коэффициента β, рекомендовано значение 0,1 – 0,2. По сути это означает, что средняя индивидуальная доза работника за ремонт не должна превышать 4 мЗв.

Как правило, величина DA существенно меньше D3, что подразумевает использование дополнительно привлекаемого персонала. Дефицит дозозатрат ΔD определяется по формуле:. а дозовый ресурс подразделять на планово-расходуемую часть и запас.

$$\Delta D = D_0 - D_A \quad (4)$$

Количество дополнительно привлекаемой рабочей силы Мдоп составляет:

$$M_{доп} = \beta \Delta D / 20$$

Стоимость рабочей силы определяется по формуле:

$$S_{доп} = M_{доп} З_Р \quad (5)$$

где $З_Р$ – сумма, выплачиваемая привлекаемой к ремонту организации за 1-го работника.

Дефицит дозозатрат может быть уменьшен при дезактивации оборудования, на котором должны проводиться работы. Новые дозозатраты рассчитываются по формуле:

$$D_i = \sum_{i=1}^{N} \frac{P_i^0}{K_{Дi}} + T_i + D_{Дез} + D_{ЖРО} \quad (6)$$

$D_{Дез}$ – дозозатраты на проведение дезактивации;

$D_{ЖРО}$ – дозозатраты на переработку образующихся ЖРО;

K_{Di} – коэффициент дезактивации (коэффициент снижения мощности дозы) на i-ом рабочем месте.

По формуле (4) рассчитывается новый дефицит дозовых затрат ΔD_i , новая численность привлекаемого персонала $M'_{доп}$ и новое значение стоимости персонала $S'_{доп}$'.

Денежные затраты на дезактивациюSдез складываются из стоимости:

реагентов для дезактивирующего раствора;

работы и амортизация оборудования, с помощью которого проводится дезактивация;

переработка РАО, образующегося в результате проведения дезактивации;

оплата персонала, занятого на дезактивации.

При оценке дезактивации следует учитывать [7,8] будущие затраты S– на негативные последствия дезактивации, которые сильно различаются для конкретных АЭС и энергоблоков и состоят из:

себестоимости недовыработанной электроэнергии из-за вынужденного снижения мощности реактора после роста перепада давления;

стоимости приобретения новых ТВС вследствие увеличения количества негерметичных ТВС и сокращения срока службы ТВС (с 5 до 4 лет);

затрат на ликвидацию последствий дезактивации (рост скорости коррозии, увеличение массы подвижных продуктов коррозии в контуре).

Тогда экономический эффект от дезактивации можно оценить по формуле:

$$E_{доп} = S_{доп} - S'_{доп} - S_{дез} + \alpha(\Delta D - \Delta D' - S) \quad (7)$$

где α – стоимость единицы дозовых затрат. Согласно НРБ-99 стоимость одного чел.-Зв составляет величину, равную одному душевому национальному доходу.

Заключение

Методом снижения радиационных полей дозовых нагрузок представляет собой многофак-

торную проблему, включающую как организацию производства и работ, проводимых на остановленном энергоблоке, так и научные и конструкторские проработки технологий удаления отложений.

Предложен метод расчета критериев оценки необходимости проведения дезактивации.

Список литературы

1. 8-я международная научно-техническая конференция «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР» http://www.gidropress.podolsk.ru/ ru/conferences/mntk 2013.php (Дата обращения 01.12.2020 г.)
2. Проблемы и перспективы развития химического и радиохимического контроля в атомной энергетике. Тезисы докладов Восьмой межотраслевой научно-технической конференции (Атомэнергоаналитика—2017), 30 мая—1 июня 2017 г., г. Сосновый Бор: Изд-во ВВМ, 2017. — 211 с.
3. Конференции. Атомная энергия 2.0. https://www.atomic-energy.ru/events /konferentsiya(Дата обращения 01.12.2020 г.)
4. Планирование дозовых затрат: Аналитический обзор/ Авт.: Гайко В.Б., Шамов В.П./ВНИПИЭТ, инв. 89-05246, 1989. – 37с.
5. Егоров Ю.А. Планирование дозовых затрат персонала АЭС// Радиационная безопасность и защита АЭС. М.: Энергоатомиздат, - Вып. 7. – 1982. 272 с.
6. Егоров Ю.А. / Основы радиационной безопасности атомных электростанций. М.: Энергоатомиздат, - Вып. 7. – 1982. С. 33-42.
7. Львовский Е.Н./ Статистические методы построения эмпирических формул // М.: Высшая школе. – 1988. – 239с.
8. Крицкий В.Г. и др. /Формирование и удавление отложений в первом контуре АЭС с ВВЭР // Санкт-Петербург, ООО «Береста», - 2011. – 308с.

References

1. 8-ya mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya kon-ferenciya «Obespechenie bezopasnosti AES s VVER» http://www.gidropress.podolsk.ru /ru/conferences/mntk2013.php (Data obrashcheniya 01.12.2020 g.)
2. Problemy i perspektivy razvitiya himichesko-go i radiohimicheskogo kontrolya v atomnoj energetike. Tezisy dokladov Vos'moj mezhotraslevoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii (Atomenergoana-litika—2017), 30 maya—1 iyunya 2017 g., g. Sosnovyj Bor: Izd-vo VVM, 2017. — 211 s.
3. Konferencii. Atomnaya energiya 2.0. https://www.atomic-energy.ru/ events/konferentsiya (Data obrashcheniya 01.12.2020 g.)
4. Planirovanie dozovyh zatrat: Analiticheskij obzor/ Avt.: Gajko V.B., SHamov V.P./VNIPIET, inv. 89-05246, 1989. – 37s.
5. Egorov YU.A. Planirovanie dozovyh zatrat personala AES// Radiacionnaya bezopasnost' i za-shchita AES. M.: Energoatomizdat, - Vyp. 7. – 1982. 272 s.
6. Egorov YU.A. / Osnovy radiacionnoj bezopas-nosti atomnyh elektrostancij. M.: Energoatomiz-dat, - Vyp. 7. – 1982. S. 33-42.
7. L'vovskij E.N./ Statisticheskie metody po-stroeniya empiricheskih formul // M.: Vysshaya shko-le. – 1988. – 239s.
8. Krickij V.G. i dr. /Formirovanie i udavlenie otlozhenij v pervom konture AES s VVER // Sankt-Peterburg, OOO «Beresta», - 2011. – 308s.S.86-91.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 556.06

Определение статистических параметров вариационного стокового ряда для прогнозирования величины годового стока заданной вероятности превышения Симферопольского водохранилища

А.С.Бабинецкая[1], Н.М.Дербасова[2]
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская 33, г. Севастополь, 299053, Россия
[1]akatsyki.kodgo@gmail.com, [2]derbasovanm@mail.ru

Статья поступила 29.01.2021 г.; после доработки 02.02.2021 г.

Аннотация

Определены параметры вариационного стокового ряда реки Салгир различными методами. Построены эмпирическая и теоретическая кривые обеспеченности. Произведено сравнение теоретических рассчитанных кривых с эмпирическими точками для выявления наиболее точного метода. Найдена величина годового стока заданной обеспеченности для Симферопольского водохранилища.

Ключевые слова: Вероятность превышения, приток, прогноз водности, кривые обеспеченности, годовой сток, среднегодовые расходы.

Determination of the statistical parameters of the variational runoff series for predicting the value of the annual runoff of a given probability of exceeding the Simferopol reservoir

A.S. Babinetskaya[1], N.M. Derbasova[2]
Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia
[1]akatsyki.kodgo@gmail.com, [2]derbasovanm@mail.ru

Received 29.01.2021 y.; received in final form 02.02.2021 y.

Abstract

The parameters of the variational runoff series of the Salgir River were determined by various methods. Empirical and theoretical curves of security have been built. The theoretical calculated curves are compared with empirical points to identify the most accurate method. The value of the annual runoff of a given supply for the Simferopol reservoir is found.

Keywords: Probability of excess, inflow, forecast of water content, supply curves, annual flow, average annual costs.

Введение

На территории Крымского полуострова на данный момент остро стоит проблема водообеспеченности. В связи со значительным продолжительным засушливым периодом в Крыму наблюдается сильная потребность в сведениях об ожидаемом наполнении водохранилищ и питающих их рек.

Водность любой реки может быть оценена с помощью величины годового стока. Колебания годового стока, как и других гидрологических величин, обусловлены достаточно большим количеством меняющихся факторов, поэтому их изучают при помощи методов математической

статистики и теории вероятностей. Если рассматривать стоковый ряд, вид кривой обеспеченности зависит от следующих статистических параметров ряда:

- средней арифметической величины ряда (нормы стока Q),
- коэффициента вариации (Cv)
- коэффициента асимметрии (Cs)[1].

Знание вероятностей повторяемости и обеспеченности имеет важное практическое значение. Для расчета годового стока реки Салгир, впадающей в Симферопольское водохранилище, различной вероятности превышения использовались кривые распределения или обеспеченности среднегодовых расходов реки. Расчет ведется табличным методом. Согласно п. 5.4.3.3. Приказа от 16 апреля 2015 г. N 78 «Об утверждении нормативов градостроительного проектирования Краснодарского края» величину расчетных расходов и уровня воды в водоисточниках, водоприемниках, каналах необходимо определять согласно СП 33-101-2003 с учетом особенностей формирования стока на водосборной площади[2].

Для построения эмпирических кривых обеспеченности определялась обеспеченность каждого члена стокового ряда (P,% – это вероятность появления расхода равного или превышающего заданное значение, формула (1))

$$P = \frac{m}{n+1} \cdot 100,\%, \qquad (1)$$

где m – порядковый номер членов ряда соответствующей гидрологической характеристики, расположенной в убывающем порядке;

n – общее число членов ряда.

Чем больше вероятность превышения, тем меньше значение гидрометеорологической характеристики и наоборот.

Если по формуле (1) вычислить обеспеченность всех членов ряда, расположенных в убывающем порядке, можно по полученным значениям обеспеченности и соответствующим им значениям расходов воды построить эмпирическую кривую обеспеченности. Однако, из-за отсутствия длительных рядов наблюдений, такая кривая не позволяет определить расходы воды редкой повторяемости (1 раз в 100, 500, 1000 лет). Эмпирическую кривую необходимо экстраполировать в верхней и нижней частях значений обеспеченности.

Для этой цели используются теоретические кривые распределения: трехпараметрического гаммараспределения и распределение Пирсона III типа.[1]

При построении теоретических кривых необходимо вычислить коэффициент вариации (Cv) и асимметрии (Cs) по которым рассчитываются ординаты теоретических кривых. При наличии длительных рядов данных однородных гидрометрических наблюдений согласно СП 33-101-2003 «Свод правил по проектированию и строительству, определение основных расчетных гидрологических характеристик» предусматривает следующие методы определения этих коэффициентов: метод наибольшего правдоподобия, метод моментов, графоаналитический метод[2].

В данной работе теоретическое значение величины годового стока рассчитано тремя способами. Это было сделано в целях уточнения метода, наиболее точно отражающего ход параметров вариационного стокового ряда. Точки теоретических кривых сравнивались с эмпирическими точками на клетчатке вероятности, и соответственно годовой сток заданной вероятности превышения вычислялся по наиболее приближенным к наблюденным значениям.

Метод наибольшего правдоподобия

Применяется при любой изменчивости стока. Значения годового расхода воды (Qi) располагаются в убывающем порядке, и определяется эмпирическая ежегодная вероятность превышения по формуле (1). Рассчитываются модульные коэффициенты (ki), а также (lgki) и произведения (ki · lgki). Результаты расчетов записываются в таблицу 1.

***Таблица 1**. Параметры кривой распределения годового расхода воды (Qi), рассчитанные методом наибольшего правдоподобия*

№	год	Q, м3/с	Q убыв	P%	Ki =Q/cpQ	lgKi	Ki*lgKi
1	1990	0,768	3,41	3,125	3,183	0,503	1,600
2	1991	0,541	2,15	6,25	2,010	0,303	0,609
3	1992	1,688	1,94	9,375	1,815	0,259	0,470
4	1993	0,899	1,80	12,5	1,677	0,225	0,377
5	1994	0,257	1,69	15,625	1,577	0,198	0,312
6	1995	1,138	1,63	18,75	1,524	0,183	0,279
7	1996	0,837	1,47	21,875	1,376	0,138	0,190
8	1997	3,408	1,44	25	1,341	0,127	0,171
9	1998	1,796	1,21	28,125	1,132	0,054	0,061
10	1999	0,688	1,21	31,25	1,128	0,052	0,059
11	2000	1,473	1,20	34,375	1,123	0,050	0,057
12	2001	0,332	1,14	37,500	1,063	0,026	0,028
13	2002	0,735	1,12	40,625	1,049	0,021	0,022
14	2003	1,010	1,01	43,750	0,944	-0,025	-0,024
15	2004	2,152	0,96	46,875	0,893	-0,049	-0,044
16	2005	1,207	0,90	50,000	0,840	-0,076	-0,064
17	2006	0,798	0,84	53,125	0,782	-0,107	-0,083
18	2007	1,203	0,80	56,250	0,745	-0,128	-0,095
19	2008	0,750	0,77	59,375	0,717	-0,144	-0,103
20	2009	0,458	0,75	62,500	0,700	-0,155	-0,108
21	2010	1,436	0,74	65,625	0,692	-0,160	-0,111
22	2011	0,956	0,73	68,750	0,686	-0,163	-0,112
23	2012	0,474	0,72	71,875	0,677	-0,170	-0,115
24	2013	0,513	0,69	75,000	0,642	-0,192	-0,123
25	2014	1,123	0,54	78,125	0,506	-0,296	-0,150
26	2015	1,943	0,51	81,250	0,479	-0,319	-0,153

27	2016	0,741	0,47	84,375	0,443	-0,354	-0,157
28	2017	1,632	0,46	87,500	0,427	-0,369	-0,158
29	2018	1,212	0,33	90,625	0,341	-0,467	-0,159
30	2019	0,724	0,30	93,750	0,310	-0,508	-0,158
31	2020	0,297	0,26	96,875	0,240	-0,619	-0,149
сумма		33,192			31,064	-2,162	2,169
среднее		1,071					

Исходя из полученных данных (таблицы 1) на клетчатку вероятности (рисунок 1) наносятся эмпирические точки, и строится сглаженная эмпирическая кривая обеспеченности.

Определяется среднее многолетнее значение расхода воды по формуле (2)

$$\overline{Q} = \frac{\sum_{i=0}^{n} Q_i}{n} = \frac{33,192}{31} = 1,071 \text{ м3/с}, \quad (2)$$

затем вычисляются суммы $\sum_{i=1}^{n} \lg Ki$, $\sum_{i=1}^{n} Ki * \lg Ki$, для вычисления статистик λ_2 и λ_3, которые рассчитываются по формулам (3) и (4):

$$\lambda_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} Ki*\lg Ki}{n-1} = \frac{-2,162}{30} \quad (3)$$

$$\lambda_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lg Ki,}{n-1} = \frac{2,169}{30} \quad (4)$$

По специальным номограммам для вычисления параметров трехпараметрического гамма распределения методом наибольшего правдоподобия, в соответствии с вычисленными статистиками (λ_2) и (λ_3), определяем коэффициент вариации C_V=0,55, отношение Cs/Cv=3,0.[3] Далее, по этим параметрам и Q = 1,071 м3/с, согласно таблице ординат интегральных кривых распределения вероятностей по С. Н. Крицкому и М. Ф. Менкелю, вычисляются ординаты кривой трехпараметрического гамма-распределения и заносятся в таблицу 2[3].

Таблица 2. *Ординаты аналитической кривой трехпараметрического гамма-распределения*

P, %	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	95
kp	2,00	1,64	1,29	1,18	1,07	0,93	0,80	0,69	0,60	0,54	0,50	0,38	0,31
Qp, м3/с	2,14	1,76	1,38	1,26	1,15	1	0,86	0,74	0,64	0,58	0,53	0,41	0,33

Средние квадратические ошибки нормы годового стока и коэффициента вариации без учета автокорреляции определяются по формулам (5) и (6):

$$\sigma_{\overline{Q}} = \pm \frac{Cv}{\sqrt{n}} * 100 = \pm \frac{0,55}{\sqrt{31}} * 100 = 9,87 \quad (5)$$

$$\sigma_{Cv} = \pm \sqrt{\frac{3}{2n*(3+C_v^2)}} * 100 = \pm \sqrt{\frac{3}{2*31*(3+0,55^2)}} * 100 = 12,104 \quad (6)$$

Полученная ошибка для нормы стока 9,87%<10% не противоречит условию[4].

Метод моментов

Является вспомогательным методом. Расчет статистических параметров производим в порядке, указанном в таблице 3.

Таблица 3. *Параметры кривой распределения годового расхода воды, рассчитанные методом моментов*

№	год	Q, м3/с	Q убыв	P%	Ki =Q/cpQ	Ki-1	(Ki-1)^2	(Ki-1)^3
1	1990	0,768	3,41	3,125	3,183	2,183	4,764	10,399
2	1991	0,541	2,15	6,25	2,010	1,010	1,020	1,030
3	1992	1,688	1,94	9,375	1,815	0,815	0,664	0,541
4	1993	0,899	1,80	12,5	1,677	0,677	0,459	0,311
5	1994	0,257	1,69	15,625	1,577	0,577	0,333	0,192
6	1995	1,138	1,63	18,75	1,524	0,524	0,275	0,144
7	1996	0,837	1,47	21,875	1,376	0,376	0,141	0,053
8	1997	3,408	1,44	25	1,341	0,341	0,116	0,040
9	1998	1,796	1,21	28,125	1,132	0,132	0,017	0,002
10	1999	0,688	1,21	31,25	0,036	-0,964	0,929	-0,895
11	2000	1,473	1,20	34,375	1,123	0,123	0,015	0,002
12	2001	0,332	1,14	37,500	1,063	0,063	0,004	0,000
13	2002	0,735	1,12	40,625	1,049	0,049	0,002	0,000
14	2003	1,010	1,01	43,750	0,944	-0,056	0,003	0,000
15	2004	2,152	0,96	46,875	0,893	-0,107	0,011	-0,001
16	2005	1,207	0,90	50,000	0,840	-0,160	0,026	-0,004
17	2006	0,798	0,84	53,125	0,782	-0,218	0,047	-0,010
18	2007	1,203	0,80	56,250	0,745	-0,255	0,065	-0,017
19	2008	0,750	0,77	59,375	0,717	-0,283	0,080	-0,023
20	2009	0,458	0,75	62,500	0,700	-0,300	0,090	-0,027
21	2010	1,436	0,74	65,625	0,692	-0,308	0,095	-0,029
22	2011	0,956	0,73	68,750	0,686	-0,314	0,098	-0,031
23	2012	0,474	0,72	71,875	0,677	-0,323	0,105	-0,034
24	2013	0,513	0,69	75,000	0,642	-0,358	0,128	-0,046
25	2014	1,123	0,54	78,125	0,506	-0,494	0,244	-0,121
26	2015	1,943	0,51	81,250	0,479	-0,521	0,271	-0,141
27	2016	0,741	0,47	84,375	0,443	-0,557	0,310	-0,173
28	2017	1,632	0,46	87,500	0,427	-0,573	0,328	-0,188
29	2018	1,212	0,33	90,625	0,341	-0,659	0,434	-0,286
30	2019	0,724	0,30	93,750	0,310	-0,690	0,476	-0,328
31	2020	0,297	0,26	96,875	0,240	-0,760	0,577	-0,439
сумма		33,192					12,128	9,922
среднее		1,071						

По результатам расчетов (таблица 3) определяются суммы: $\sum_{i=1}^{n}(Ki-1)^2$ и $\sum_{i=1}^{n}(Ki-1)^3$; вычисляются смещенные значения коэффициентов вариации, асимметрии и средние квадратические ошибки по формулам (7), (8), (9), (10) и (11).

$$\widetilde{C}v = \sqrt{\frac{\sum(Ki-1)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{12.128}{31}} = 0,64 \quad (7)$$

$$\widetilde{C}s = \frac{n*\sum(Ki-1)^3}{Cv^3*(n-1)*(n-2)} = \frac{31*9,922}{0,260*30*29} = 1,35 \quad (8)$$

$$\widetilde{C}s/\widetilde{C}v = 0,64/1,35 = 2,113 \quad (9)$$

Метод моментов является вспомогательным методом. Применяется при изменчивости годового стока $Cv \leq 0,5$. При $Cv \geq 0,5$ средние квадратические ошибки нормы годового стока и коэффициента вариации определяются с учетом автокорреляции r по формулам по формулам (10)

и (11)[4].

$$\sigma_{\overline{Q}}=\pm\frac{Cv}{\sqrt{n}}*100\text{-r}=\pm\frac{0,64}{\sqrt{31}}*100\text{-2}=\pm 9,46\% \quad (10)$$

$$\sigma_{Cv}=\pm\sqrt{\frac{3}{2n*(3+C_v^2)}}*100=\pm\sqrt{\frac{3}{3*31*(3+0,407)}}*100=\pm 11,92\% \quad (11)$$

Относительная средняя квадратическая ошибка нормы годового расхода воды 9,46%<10% (продолжительность периода n=31 год) считается достаточной[6].

Расчетные несмещенные значения коэффициентов (C_V) и (C_S) для биномиального распределения методом моментов определяются по приложению Б, таблице Б.1, СП 33-101-2003 «Свод правил по проектированию и строительству, определение основных расчетных гидрологических характеристик»[1], где коэффициенты a_1-a_6 и b_1-b_6 найдены по таблицам значений параметров расчетных формул (12) и (13) для соотношения C_S/C_V=2 и коэффициента автокорреляции r(1)=0.3

$$Cv=\left(a_1+\frac{a_2}{n}\right)+\left(a_3+\frac{a_4}{n}\right)*\widetilde{C}v+\left(a_5+\frac{a_6}{n}\right)*\widetilde{C}v^2=(0+\frac{0,22}{31})+(0,99+\frac{-0,41}{31})*0,64+(0,01+\frac{1,15}{31})*0,407=0,65 \quad (12)$$

$$Cs=\left(b_1+\frac{b_2}{n}\right)+\left(b_3+\frac{b_4}{n}\right)*\widetilde{C}s+\left(b_5+\frac{b_6}{n}\right)*\widetilde{C}s^2=(0,03+\frac{1,77}{31})+(0,93+\frac{-3,45}{31})*1,35+(0,03++\frac{8,03}{31})*1,818=1,76 \quad (13)$$

По несмещенным параметрам Cv =0,65, Cs =1,76 и Q =1,071 м3/с вычисляются ординаты биномиальной кривой распределения согласно таблице ординат интегральных кривых распределения вероятностей по С. Н. Крицкому, М. Ф. Менкелю, и заносятся в таблицу 4[3].

Таблица 4. *Ординаты аналитической кривой биномиального распределения годового стока (для метода моментов)*

P, %	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	95
Фр	1,98	1,32	0,64	0,42	0,24	-0,05	-0,28	-0,48	-0,64	-0,72	-0,8	-0,94	-1,02
Кр=Фр*Cv+1	2,26	1,84	1,41	1,27	1,15	0,97	0,82	0,69	0,59	0,54	0,49	0,40	0,35
Qp=Kp*Qcp	2,42	1,97	1,51	1,36	1,23	1,04	0,88	0,74	0,64	0,58	0,53	0,43	0,38

Графоаналитический метод

Для получения оценок параметров аналитической кривой распределения, по сглаженной эмпирической кривой распределения (клетчатка вероятности), построенной с использованием данных таблицы 1, определяются ее ординаты, т.е. средние годовые расходы воды с вероятностью превышения (Р), равной 5, 50, 95%.[5] Результаты вычислений заносятся в таблицу 5.

Таблица 5. *Параметры кривой распределения годового стока, рассчитанные графоаналитическим методом*

Q5%	Q 50%	Q 95%	S	Cs	Ф5%-Ф95%	σ	Ф50%	σ·Ф50%	Cv	Qcp
1,98	0,9	0,24	0,34	0,9	3,21	0,54	-0,15	-0,081	0,55	1,071

Определение параметров биномиальной кривой обеспеченности графоаналитическим методом необходимо начать с расчета коэффициента скошенности (S) по формуле (14).

$$S=\frac{Q_{5\%}+Q_{95\%}-2Q_{50\%}}{Q_{5\%}-Q_{95\%}}=\frac{1,98+0,24-2*0,9}{1,98-0,24}=0,241 \quad (14)$$

С использованием коэффициента скошенности (S), по таблице нормированных отклонений от среднего значения ординат распределения Пирсона III типа определяется коэффициент асимметрии (Cs), разность нормированных отклонений (Ф5%-Ф95%) и нормированное отклонение (Ф50%). Далее рассчитывается среднее квадратическое отклонение (σ), норма годового расхода воды ($\overline{Q}$) и коэффициент вариации (Cv) по формулам (15), (16) и (17)

$$\sigma=\frac{Q_{5\%}-Q_{95\%}}{\Phi_{5\%}-\Phi_{95\%}}=\frac{1,98-0,24}{3,21}=0,54 \quad (15)$$

$$\overline{Q}=Q_{50\%}\text{-}\Phi_{50\%}*\sigma=0,9\text{–}(-0,15*0,54)=0,981 \quad (16)$$

$$Cv=\sigma/\overline{Q}=0,54/0,981=0,55 \quad (17)$$

По параметрам Q = 1,071 м3/с, Cv =0,55, Cs=0,9 рассчитываются ординаты аналитической кривой обеспеченности биномиального распределения стока по таблице нормированных отклонений от среднего значения ординат распределения Пирсона III типа.

Таблица 6. *Ординаты аналитической кривой биномиального распределения годового стока (для графоаналитического метода)*

P, %	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	95
Фр	1,86	1,34	0,77	0,57	0,4	0,11	-0,15	-0,38	-0,61	-0,73	-0,85	-1,15	-1,35
Кр=Фр*Cv+1	2,03	1,74	1,43	1,31	1,22	1,06	0,92	0,79	0,66	0,60	0,53	0,36	0,25
Qp=Kp*Qcp	2,17	1,86	1,53	1,41	1,31	1,14	0,98	0,85	0,71	0,64	0,57	0,39	0,27

По данным таблиц 2, 4, 6 на клетчатке вероятности строится аналитическая кривая биномиального распределения модулей годового стока (рисунок 1).

Анализируя кривую можно заметить, что наибольшее соответствие точек эмпирических и теоретических кривых наблюдается у кривой трехпараметрического гамма-распределения при Cv=0,55 и Cs=3Cv [5]. В качестве расчетной была выбрана теоретическая кривая, которая

наиболее точно приближена к значениям эмпирических точек.

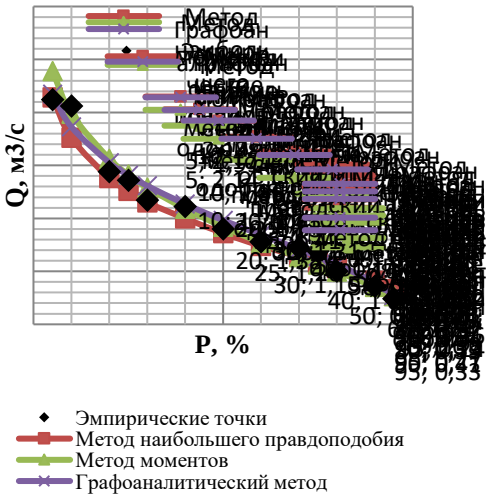


Рис.1. Кривые распределения годового стока р. Салгир, впадающей в Симферопольское водохранилище

Вывод

Таким образом, выявлено, что в данной работе наиболее целесообразным будет определять расход заданной обеспеченности по теоретической кривой, построенной по методу наибольшего правдоподобия.

Поскольку 2020 год был годом очень маловодным, и длительные засухи, начавшиеся с осени 2019 способствовали тому, что запасы воды на полуострове упали до рекордного минимума 1994 года, прогнозное значение стока на 2021 год следует вычислять по обеспеченности аналогичной водности годов. Соответственно примем, что 2021 год будет 94% вероятности превышения и используя аналитическую кривую вычислим величину годового стока.

Расчетный прогнозный приток на маловодный 2021 год составляет:

$Q_{95\%}$= 0,37 м^3/с = 11668,32 тыс м^3/год = 11,668 млн м^3/ год

Список литературы

1. Гидрология и гидротехнические сооружения : учеб. для вузов по спец. "Водоснабжение и канализация"/под ред. Г.Н.Смирнова. -М.: Высш. шк., 1988
2. Свод правил СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Издание официальное. — М.: Госстрой России, 2004
3. Пособие по определению расчетных гидрологических характери-стик: сприл.No1 "Атлас расчетных гидрологическихкарт и номограмм" Гидрометеоиздат, 1984. -
4. Алексеев Г.А. Методы оценки случайных погрешностей гидрометеорологической информации. — Л.: Гидрометеоиздат, 1975.
5. Виноградов Ю.Б., Кучмент Л.С., Рождественский А.В. Проблемы совершенствования теории и методов расчета стока. Генеральные доклады V Всесоюзного гидрологического съезда. — Л.: Гидрометеоиздат, 1986.

References

1. Hydrology and hydraulic structures: textbook. for higher education institutions on spec. "Water supply and sewerage"/edited by G. N. Smirnov.- M.: Higher School of Economics, 1988
2. Set of rules SP 33-101-2003. Determination of the main calculated hydrological characteristics. Official edition. - Moscow: Gosstroy of Russia, 2004
3. Manual for determining the calculated hydrological characteristics: with adj.No. 1 "Atlas of calculated hydrological maps and nomograms" Hydrometeoizdat, 1984. -
4. Alekseev G. A. Methods for evaluating random errors of hydrometeorological information — - L.: Gidrometeoizdat, 1975.
5. Vinogradov Yu. B., Kuchment L. S., Rozhdestvensky A.V. Problems of improving the theory and methods of calculating the flow. General reports of the V All-Union Hydrological Congress. - L.: Gidrometeoizdat, 1986.

УДК 629.12

Методические рекомендации по составлению судового плана управления балластными водами

В.И. Истомин[1], С.Е. Тверская[2], В.В. Хлебникова[3]
ФГАОУ ВО «Севастопольского государственного университета», ул. Университетская, 33
г. Севастополь, 299029, Россия, [1,3] v-istomina@mail.ru, [2]svettverskaya@mail.ru

Статья поступила 13.01.2021 г.; после доработки 15.01.2021 г.

Аннотация

В статье обоснована актуальность ограничения и предотвращения переселения вредных водных и патогенных организмов с балластными водами, которые наносят существенный ущерб окружающей среде и здоровью человека. В соответствии с международной конвенцией о контроле судовых балластных вод, осадков и управления ими 2004 года разработаны методические рекомендации для членов экипажей судов по составлению судового плана по обработке и управлению балластными водами, что позволит повысить эффективность методов управления и обработки балластных вод.

Ключевые слова: балластная вода, смена балласта, экологическая безопасность, эффективность.

Guidelines for the preparation of a ship's ballast water management plan

V.I. Istomin[1], S.E. Tverskaya[2], V.V. Hlebnikova[3]
Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st, c. Sevastopol,
299029, Russia, [1,3] v-istomina@mail.ru, [2]svettverskaya@mail.ru

Received 13.01.2021 y.; received in final form 15.01.2021 y.

Abstract

The article substantiates the relevance of limiting and preventing the relocation of harmful aquatic and pathogenic organisms with ballast waters, which cause significant damage to the environment and human health. In accordance with the International Convention on the Control and Management of Ships' Ballast Water, Sediments, 2004, guidelines have been developed for ship crew members to draw up a ship's ballast water treatment and management plan, which will improve the efficiency of ballast water management and treatment methods.

Keywords: ballast water, ballast change, environmental safety, efficiency.

Введение

Чужеродные живые организмы, которые перемещаются через океан в водяном балласте судов создают значительные проблемы для морской среды, государственного имущества и здоровья человека.

В отличие от нефтяных разливов и других видов загрязнения моря, вызываемого судоходством, экзотические организмы и морские виды не могут быть удалены путем очистки или поглощены океанами.

После внедрения их практически невозможно ликвидировать, а между тем они могут привести к губительным последствиям [1,2,3].

Суда проектируются и строятся для передвижения по воде имея на борту груз.

Поэтому, если судно совершает плавание порожнем, на борт должен быть принят балласт для достижения требуемых условий безопасной

эксплуатации.

К ним относится поддержание достаточной посадки судна для обеспечения эффективной работы гребного винта и руля, а также для избежание выхода из воды носовой части, особенно на большой волне [2,3].

Поэтому разработка методических рекомендаций для членов экипажей судов по составлению судового плана по обработке и управлению балластными водами является актуальной и позволит повысить эффективность методов управления и обработки балластными водами.

Изложение основного материала

Все суда должны иметь на борту план управления балластными водами. Такой план должен обеспечить высокий процент водообмена, минимальное количество осадков в танках при обеспечении минимальных скручивающих и перерезающих моментов, а также опасности образования волн внутри танков и их перепресования [1,3].

Контроль за выполнением требований по водяному балласту возлагается на карантинные власти государства порта. Типовой план по обработке балласта должен содержать:

Специфическую информацию о судне:

Общая информация:

- название судна;
- номер ИМО;
- брутто регистровый тоннаж;
- длину/ширину судна;
- осадку судна в балласте (на морском переходе).

Специфическая информация по балластной системе:

- расположение танков;
- вместимость танков;
- схему насосов и трубопроводов;
- производительность насосов;
- схемы балластировки для различных погодных условий.

Ответственность экипажа:

Офицер, ответственный за балластные операции:

- отвечает за соблюдение данного плана при смене балласта;
- ведет журнал операций с балластными водами;
- докладывает властям государства порта о состоянии балласта.

Члены экипажа, занятые в балластных операциях должны быть обучены и ознакомлены с:

- судовой схемой балластной системы;
- мерами безопасности при смене балласта в открытом море.

Система регистрации:

Форма регистрации балласта:

- состояние балластной воды (объем, температура, соленость и т.д.);
- информация по смене балласта (процент, высота волн и т.п.).

Журнал операций с балластом:

- расположение танка;
- дата;
- местонахождение судна;
- использовавшиеся насосы.

Шаги для минимизации проблемы балластной воды:

Удаление осадков:

- периодическое удаление осадков 9 в море, в сухом доке и т.д.).

Прием балласта:

- следует избегать районов, обозначенных государством порта (районы сброса городских стоков, районы цветения моря);
- следует избегать приема балласта на мелкой воде.

Безопасность:

Дифферент, остойчивость и прочность корпуса:

- расчеты дифферента и остойчивости;
- динамические нагрузки (усталость корпуса, удары волн, инерция балласта);
- предупреждение перепрессования и недопрессования танков.

Природные и эксплуатационные факторы:

- аварийные планы на случай резкого изменения погоды, отказа насосов и т.п.;
- критерии, которыми следует руководствоваться при принятии решения об опасности смены балласта (температура воздуха, высота волн, скорость ветра и т.п.).

Процесс смены балласта:

Последовательный метод:

- точный порядок опорожнения и повторного наполнения танков, с хронометражем;
- пределы изменения осадки и прочности на

каждой стадии процесса;
- используемые насосы (в том числе резервные).

Метод прокачивания:
- список танков, для которых данный метод не может применяться;
- крышки танков и другие закрытия, которые должны использоваться;
- объем балластной воды, который должен быть прокачан через танк (3-х кратный для 95% обмена, 4-х кратный для 98% обмена).

Отчеты:

Для судового оператора:
- состояние процесса смены балласта в открытом море;
- основания для отмены процедуры смены балласта (погодные условия и пр.).

Для офицеров портконтроля или карантинной службы:
- использование стандартной национальной формы отчета;
- время, объемы, соленость, расположение балластной воды, принятой на борт и сменненной в мооре;
- последние порты, страны и даты приема и смены балласта;
- офицер, ответственный за смену балласта;
- основания для отмены процедуры смены балласта (погодные условия и пр.).

Инспекции:

Точки забора проб:
- точное обозначение точек забора проб для карантинных офицеров.

Исполнение:
- точное объяснение карантинным офицерам правил безопасности при входе в закрытые помещения;
- оказание помощи карантинным офицерам в выполнении ими своих обязанностей путем выделения по их просьбе специального офицера или другого члена экипажа.

Судовой план по обработке балласта должен быть одобрен признанным классификационным обществом.

Способы смены балласта

Существует два способа смены балласта в море: последовательный способ и способ прокачивания. При смене балласта на глубокой воде, вдали от прибрежного шельфа, оба способа одинаково эффективны (примерно 95%). Для устранения водных организмов. Однако, оба способа содержат в себе также и определенный риски для судна [4,5] .

Преимущества и недостатки последовательного способа

Последовательный метод включает в себя полное опорожнение балластных танков по очереди с последующим заполнением их водой открытого океана.

Исследованиями установлено, что в процессе последовательной смены балласта наблюдаются следующие изменения в состоянии судна. Осадка судна становится очень маленькой, дифферент сильно возрастает. Поэтому обзор с мостика очень часто может быть неудовлетворительным, ввиду большого дифферента на корму. Кроме того, в процессе смены балласта последовательным способом практически невозможно обеспечить постоянное надлежащее заглубление гребного винта, а скручивающие моменты в корпусе судна во время балластных операций могут достигать предельных величин и даже превышать их.

Увеличение скручивающих моментов может происходить в тех случаях, если судоводители попытаются одновременно производить смену балласта в диагонально противоположных танках с целью уменьшения сил сдвига, предотвращения перегиба корпуса судна либо изменения дифферента судна.

Время также является одним из серьезных факторов. Последовательная смена балласта может продолжаться в открытом океане в пределах от половины суток до двух суток при хорошей погоде. При серьезном ухудшении погодных условий последовательная смена балласта должна быть прекращена.

Американским Бюро Судоходства были разработаны рекомендации по смене балласта последовательным способом. Первоочередное внимание в данных рекомендациях уделено остойчивости судна, продольной прочности корпуса, заглублению гребного винта, обзору с мостика и углу крена.

Кроме того, рассмотренные вопросы смены балласта при слеминге, заливании, а также вопросы аварийной остойчивости и непотопляемости.

Также рассмотрены количество этапов балластировки, количество танков, количество перемещений балласта и время балластировки до

исходной осадки.

Для того чтобы риск для судна был минимальным должна соблюдаться точная последовательность опорожнения одних определенных танков при заполнении других. Для определения этой последовательности должен быть выполнен ряд математических расчетов для каждого конкретного судна.

Всегда следует помнить, что даже когда такая последовательность определена и уже отработана, на некоторых судах могут быть достигнуты или даже превышены допустимые пределы некоторых величин (дифферент, осадка, нагрузки на корпус, обзор с мостика), установленное различными правилами.

Преимущества и недостатки способов прокачивания

Альтернативой последовательному способу является способ прокачивания, заключающийся в нагнетании воды открытого океана в полные балластные танки. Для достижения 95-процентной эффективности удаление водных организмов необходимо прокачать через танк количество воды в три раза превышающие объем танка. Этот способ не изменяет характеристик остойчивости, прочности и посадки судна [4,5].

Однако, существует ряд проблем, связанных с данным способом смены балласта. При его применении должны быть приняты меры для предотвращения перепрессования танков – в противном случае возможны неблагоприятные последствия, вплоть до повреждения конструкции корпуса судна. Ввиду того, что может возникнуть необходимость открытия горловин танков или других закрытий для обеспечения выпуска воды, возникает ряд проблем. Вскрытие и установка на место закрытий горловин представляет собой трудоемкую операцию, несущий потенциальный риск для персонала, требующую только благоприятных погодных условий, а перелив балласта в холодную погоду может повлечь обледенение судна. Кроме того, воздушные и переливные системы танков должны постоянно контролироваться для того чтобы предотвратить аварийные ситуации. Необходимо учесть, что на некоторых судах форпики ахтерпики имеют переливные устройства, выведенные в закрытые пространства (например, в коффердамы) – на таких судах этот способ применять нельзя.

Способ прокачивания опасно применять на старых судах, где существует серьезный риск повреждения балластных трубопроводов и прочего оборудования балластной системы в результате нагнетания забортной воды под большим давлением.

Заключение

В статье обоснована актуальность ограничения и предотвращения переселения вредных водных и патогенных организмов с балластными водами, которые наносят существенный ущерб окружающей среде и здоровью человека. В соответствии с Международной конвенцией о контроле судовых балластных вод, осадков и управления ими 2004 года разработаны методические рекомендации для членов экипажей судов по составлению судового плана по обработке и управлению балластными водами, что позволит повысить эффективность методов управления и обработки балластных вод.

Список литературы

1. Международная конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими. — СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 2005. — 120 с.
2. Леонов В. Е. Защита окружающей среды при эксплуатации судов: монография / В. И. Дмитриев. – М.: МОРКНИГА, 2017. - 252 с.
3. Аладин Н.В. Балластная вода – это требующая решения серьезная проблема / Н.В. Аладин, И.С. Плотников, А.О. Смуров. – Материалы тезисов Clean Baltic Sea Shipping Russian Seminar I, 17-18 октября 2012г., Мальме и Телеборг, Швеция.
4. Андрюшечкин Ю. Н. Анализ методов и способов управления балластными водами судов / Ю. Н. Андрюшечкин, А. К. Гусев, Д. Ю. Столповский // European scientific conference: сборник статей IX Международной научно-практической конференции: в 2 ч. — Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2018. — Ч. 1. — С. 107–110.
5. Диденко М. А. Повышение эффективности управления балластными водами на судах морского и речного флота / М. А. Диденко, А. Л. Боран-Кешишьян, С. И. Кондратьев // Эксплуатация морского транспорта. — 2015. — № 4 (77). — С. 31–39.

References

1. International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments. - SPb .: ZAO TsNIIMF, 2005 .- 120 p.
2. Leonov V. E. Environmental protection during the operation of ships: monograph / V. I. Dmitriev. - M.: MORKNIGA, 2017.- 252 p.
3. Aladin N.V. Ballast water is a serious problem requiring solution / N.V. Aladin, I.S. Plotnikov, A.O. Smurov. - Materials of theses Clean Baltic Sea Shipping Russian Seminar I, October 17-18, 2012,

Malmö and Teleborg, Sweden.
4. Andryushechkin Yu.N. Analysis of methods and methods of ballast water management of ships / Yu. N. Andryushechkin, A. K. Gusev, D. Yu. Stolpovsky // European scientific conference: collection of articles of the IX International scientific-practical conference: in 2 hours - Penza: ICNS "Science and Education", 2018. - Part 1. - pp. 107–110.
5. Didenko M.A., Boran-Keshishyan A.L., Kondratyev S.I., Improving the efficiency of ballast water management on ships of the sea and river fleet. - 2015. - No. 4 (77). - S. 31–39.

УДК 574.4

Оценка функционального состояния дендроформ г.Севастополя в условиях интенсивной антропогенной нагрузки

М.А. Косовская, Т.К Хренова, Н.В. Лямина
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, e-mail: MAKosovskaya@sevsu.ru, hugo1349@mail.ru, NVLyamina@sevsu.ru

Статья поступила 02.02.2021 г.; после доработки 04.02.2021 г.

Аннотация

В процессе исследования была проведена оценка функционального состояния дендроформ г. Севастополя в условиях интенсивной антропогенной нагрузки. Объектом исследования выбрана Pinus nigra subsp. Pallasiana. Проведен эколого-морфологический анализ 843 деревьев, на основании которого определены точки с различной антропогенной нагрузкой. В точках отбора проб проведен детальный анализ по биоморфологическим и биохимическим признакам, который показал, что воздействие антропогенной нагрузки привело к ухудшению показателей жизненного состояния P. nigra subsp. Pallasiana, вследствие чего она не способна выполнять свои экологические функции.

Ключевые слова: загрязнение воздуха, зеленые насаждения функции зеленых насаждений, интенсивная антропогенная нагрузка, эколого-морфологический анализ, биохимические признаки

Assessment of the functional state of dendroforms in Sevastopol under conditions of intense anthropogenic load

M.A. Kosovskaya, T.K.Khrenova, N.V. Lyamina
Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, e-mail: MAKosovskaya@sevsu.ru, hugo1349@mail.ru, NVLyamina@sevsu.ru

Received 02.02.2021 y.; received in final form 04.02.2021 y.

Abstract

In the course of the study, is devoted to the evaluation of the functional state dendriform of Sevastopol in the conditions of intensive anthropogenic load. The object of research is Pinus nigra subsp. An ecological and morphological analysis of 843 trees was performed, based on which points with various anthropogenic loads were determined. At the sampling points, a detailed analysis of biomorphological and biochemical features was performed, which showed that the impact of anthropogenic load led to a deterioration in the vital indicators of P. nigra subsp. Pallasiana, as a result of which it is not able to perform its ecological functions.

Keywords: air pollution, green spaces functions of green spaces, intense anthropogenic load, ecological and morphological analysis, biochemical signs

Введение

Приоритетным аспектом в природоохранной составляющей окружающей среды является контроль состояния окружающей среды [1].

В условиях интенсивного роста городов, увеличение интенсивности антропогенной нагрузки, наблюдается значительное ухудшение состояния и даже гибели древесных насаждений. Зеленые настаждения являются не только эстетической состовляющей архитектуры города, но и выполняют значительную средообразующую роль в урбаносреде. [2]. Поэтому сегодня актуализируется проблема сохранения и оздоровления городской экосистемы.

Древесные насаждения являются основным

экологическим фактором в стабилизации городской среды благодаря своей жизнедеятельности (физиолого-биохимическим процессам) и способности аккумуляции поллютантов они играют роль биофильтров [2,3].

В настоящее время в результате воздействия стационарных и передвижных источников выбросов изменяется качественный и количественный состав атмосферного воздуха, увеличивается его задымленность и запыленность, изменяется тепловой баланс (появление над городом слоя теплого воздуха), следовательно, увеличивается и роль зеленых насаждений в очистке воздушной среды.

Зелёные насаждения города представляют собой совокупность древесных, кустарниковых и травянистых растений на определённой территории. Они выполняют ряд функций, способствующих созданию оптимальных условий для труда и отдыха жителей города, играют важную роль в формировании среды человека. [4]. При этом главными функциями зелёных насаждений являются: санитарно – гигиеническая, рекреационная, декоративно – художественная. Санитарно-гигиеническую роль выполняют древесные растения, растущие вдоль дорог, они очищают атмосферный воздух задерживая, поглощая и аккумулируя комплекс токсичных веществ, выделяемых автомобилями. На озелененных участках запыленность воздуха ниже на 40 % нежели на застроенной территории [4]. Растения способны изменять не только химический состав газообразных веществ, содержащихся в воздухе, но и физическое состояние самих молекул, ионизируя их. Атмосферный воздух урбанизированных территорий беден отрицательно заряженными легкими ионами, недостаточное содержание легких аэроионов оказывает влияние на сопротивляемость организма к инфекциям, приводит к ослаблению здоровья, и таким образом к снижению трудоспособности у городских жителей.

К одной из особенностей городского воздуха следует отнести содержание огромного количества аэрозолей и взвешенных твердых частиц различного происхождения, присоединяясь к которым легкие аэроионы становятся тяжелыми ионами [5]. Такими носителями положительно заряженных тяжелых аэроионов, которые оказывают негативное влияние на ОС, являются ионизированные молекулы дыма, водяной пыли, паров. К санитарно – гигиеническим свойствам растений также относится их способность выделять особые летучие органические соединения, называемые фитонцидами, которые убивают болезнетворные бактерии или задерживают их развитие. Эти свойства приобретают особую ценность в условиях города, где в воздухе содержится в 10 раз больше болезнетворных бактерий, чем воздух полей и лесов. В чистых сосновых лесах и лесах с преобладанием сосны (до 60%) бактериальная загрязненность воздуха в 2 раза меньше, чем в березовых. [4]. В целом из древесно-кустарниковых пород, обладающих антибактериальными свойствами, положительно влияющими на состояние воздушной среды городов, следует назвать акацию белую, барбарис, березу бородавчатую, грушу, граб, дуб, ель, жасмин, жимолость, иву, калину, каштан, клен, лиственницу, липу, можжевельник, пихту, платан, сирень, сосну, тополь, черемуху, яблоню [3].

Борьба с шумом в населенных пунктах на сегодняшний день является одной из главных гигиенических проблем, которая с каждым годом усиливается в связи с ростом урбанизации. Основное решение данной проблемы в городских условиях является озеленение. В настоящее время, чтобы добиться лучшей защиты от шума предложены определенные методы озеленения. Наилучший эффект защиты от шума достигается при размещении зеленых насаждений вблизи источников и шума и одновременно защищаемого объекта [4]. В черте города встречаются крупные зеленые массивы: парки и скверы, благодаря которым город и его отдельные районы не только оказываются защищенными от негативных воздействий аэротехногенных выбросов, но приобретают свою индивидуальность и красоту.

Декоративная функция зеленых насаждений подразделяется на три группы: планировочные, ландшафтообразующие и организацию отдыха городского населения. Так растения, расположенные на площадях и вдоль городских дорог играют большую планировочную роль и используются для создания ландшафтов жилых районов города. С их помощью можно организовывать движение автотранспорта, а также они подчеркивают архитектурные элементы города. Посадки у жилых домов являются основой функционального деления жилых территорий. Ландшафтообразующая роль зеленых насаждений состоит в том, что они учувствуют в оформлении элементов городской среды. Так зеленые насаждения, расположенные на площадях, возле памятников, в скверах и парках, а также возле жилых домов способствуют объединению

города и придают ему единство и завершенность. Кроме того, зеленые насаждения играют важную роль в организации отдыха населения. [2,4].

Зеленые насаждения, выполняя средообразующую и защитную функцию, влияют на микроклимат городских территорий. Они оказывают влияние на состав атмосферного воздуха, способствуя очищению его от аэротехногенных выбросов, и создают при этом благоприятные условия для жизни человека в городе, оказывая благотворное действие на нервную систему человека, увеличивая его работоспособность и укрепляя здоровье.

Таким образом, зеленые насаждения, играя важную роль в защите населения от загрязняющих веществ, шума, способствуют комфортному пребыванию человека на улице. Однако возможности урбанофлоры не безграничны. Интенсивная антропогенная нагрузка, не соблюдение природоохранных мер могут привести не только к ослаблению возможности выполнения соответствующих функций, но и к гибели растений.

Постановка цели научного исследования

Целью исследований является оценка функционального состояния дендроформ в условиях резкого увеличения интенсивности антропогенной нагрузки в период строительства на примере зеленых насаждений общего пользования (ЗНОП) г. Севастополя.

Объектом исследования была выбран проспект Генерала Острякова. Данная территория является малоблагоустроенным, но при этом антропогенно нагруженным ЗНОП. В ходе исследований, в течении 2018, 2019 годов была проведена оценка состояния древесных насаждений района исследований, однако с конца 2019 и по 2020 год на данной территории проводилась интенсивное увеличение антропогенной нагрузки за счет благоустройства асфальтового покрытия дороги, выкладки тротуарной плитки и увеличения численности зеленых насаждений.

В исследованиях для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Определения уровня антропогенной нагрузки методом прямого подсчета интенсивности движения автотранспорта и анализ состояния атмосферного воздуха района исследования инструментальным методом.
2. Оценка жизненного состояния P. *nigra subsp. Pallasiana* по морфологическим признакам, оценка состояния хвои
3. Оценка биохимических показателей: определение активности каталазы газометрическим методом, определение активности общей пероксидазы спектрофотометрическим методом, определение хлорофилла в исследуемых объектах фотометрическим методом, определение содержания аскорбиновой кислоты в хвое, определение образования органического вещества в процессе фотосинтеза.
4. Анализ биологического загрязнения насекомым-вредителем *Anamaspis Loewi Colvee* и разработка методов борьбы с ним.

Описание исследования

В ходе многолетних исследований состояния атмосферного воздуха города Севастополя было выявлено, что основными источниками воздействия являются: котельные, промышленные предприятия и автотранспорт. Все указанные источники имеются и в районе исследования [1,6,7,8].

В настоящее время отмечено увеличение количества антропогенных факторов, способных влиять на жизненное состояние древесных насаждений.

Одним из важнейших факторов, определяющим функциональные изменения древесных растений, является именно аэротехногенное загрязнение. Поглощение газообразных поллютанов происходит в процессе газообмена через устьица, апопластического и симпластического транспорта водорастворимых веществ, а также через клетки эпидермиса листьев и молодых побегов.

Механизм действия газообразных поллютантов, как правило, заключается в нарушении физиолого-биохимических процессов, например, в результате подкисления протоплазмы клетки или целостности мембраны. В свою очередь пыль, осевшая на листья или хвою, значительно снижает поглощение световой энергии и газообмен, скопившаяся на листовой поверхности со временем она превращается в пленку и в этом случае происходит нарушение температурного и водного режима растений [1,8].

В условиях техногенной среды у деревьев снижена ассимиляционная активность, наблюдается уменьшение содержания хлорофилла, изменение строения хлоропластов, кислотность клеточного сока; под влиянием токсичных веществ снижается содержание аскорбиновой

кислоты, нуклеиновых кислот, белков, клетчатки, слабеет способность выделять фитонциды, изменяется активность ферментов, нарушается водный режим растений [2,3,9]. Осевшая на листья (хвою) пыль экранирует лист (хвою), снижая поступления к пигментам фотосинтетически активной радиации (примерно на 5-14%) и, наоборот, резко повышая поглощение теплового излучения (на 25-33%). В результате лист (хвоя) перегревается (на 1-1,5^{0}С), увеличивается расход на транспирацию, сокращается продуктивность фотосинтеза. Химическое действие пыли проявляется после растворения ее в воде и проникновения во внутренние ткани организма. Действие на растение минеральных водорастворимых частиц нередко вызывает локальные ожоги на листьях (хвои), а при длительном опылении – ослабление и гибель растений [2,3]. Кроме того, в состав пыли техногенного происхождения входят металлы. Одни из них принадлежат к классу тяжелых металлов, другие являются биогенными элементами, необходимыми для жизнедеятельности растений (Fe, Mn, Cu, Zn). Третьи, такие как Pb, Hg, не обладают известными метаболическими функциями, и их нередко относят к токсичным элементам. Биогенные микроэлементы при определенных концентрациях могут стать токсичными [2,3]. В целом в городах наблюдается тенденция ксерофитизации: деревья имеют редкую крону, мелкие листья, у них изменен рост побегов, появляются некрозы листьев (хвои). Промышленные газы в определенном диапазоне концентраций (от 1 ПДК и выше) вызывают появление некрозов на листьях и хвое древесных растений, снижение продолжительности жизни хвои, ускорение усыхания нижних ветвей в насаждениях (ель, пихта) [1,10].

Ослабленность городских древесных насаждений способствует развитию вредителей и болезней, что усугубляет их состояние, а иногда является причиной преждевременной гибели [2,3]. Комплекс негативных факторов урбанизированной среды приводит к снижению в 2-3 раза продолжительности жизни городских растений [2,3,4,11]. На рис. 1 представлена общая схема определения функционального состояния растений в зависимости от интенсивности антропогенной нагрузки.

Исследовательская работа проводилась в 2018 - 2020 года. Объектом исследований в данной работе являются хвойные насаждения *P. nigra subsp. Pallasian*, которая характеризуется как газо – пылеустойчивое древесное насаждение. Данный объект произрастает на всей территории района исследования.



Рис. 1. Общая схема определения функционального состояния растений в зависимости от интенсивности антропогенной нагрузки

Результаты исследований

Для оценки экологического состояния морской береговой зоны Черного и Азовского морей нами были предложены и применены на практике следующие группы критериев:

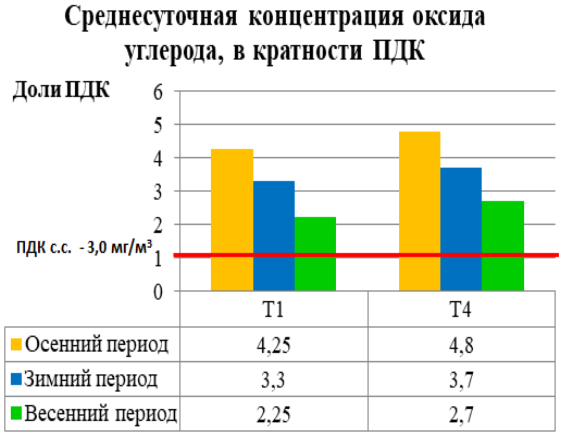
Для сравнительного результата в ходе выполнения работы были выбраны точки, с разной степенью интенсивности нагрузки: пересечение улиц Павла Силаева и генерала Острякова (ост.

«Океан») (Т1); перекресток на проспекте Ген. Острякова (бывшее ДЕПО) (Т2); остановка «38 школа» (Т3); СевГорРынХоз 5-й километр (Т4). За контроль была взята точка в природном парке регионального значения «Максимова дача» (Т5).

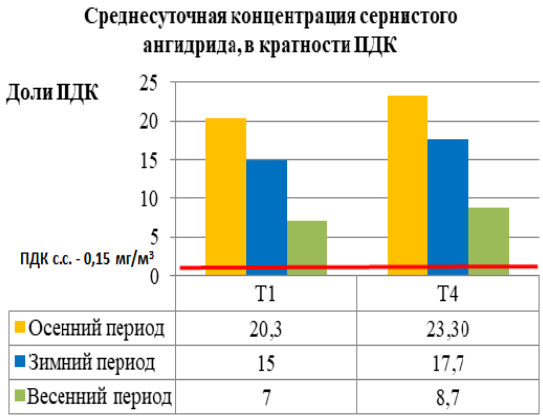
При определении точек исследования учитывались следующие параметры:

- ✓ ширина улицы, а, следовательно, и ширина дорожного покрытия;
- ✓ наличие высотных зданий и сооружений;
- ✓ вид транспорта и транспортный поток автомобилей;
- ✓ наличие «воздушных коридоров» между сооружениями;
- ✓ наличие стоянок автотранспорта, пешеходных переходов и светофоров;
- ✓ определение стороны улиц (солнечная, теневая);
- ✓ загрязнение атмосферного воздуха.

В выбранных точках произведен анализ состояния атмосферного воздуха в разный вегетативный период. Результаты замеров основных поллютантов приведены на рис. 2.



	T1	T4
Осенний период	4,25	4,8
Зимний период	3,3	3,7
Весенний период	2,25	2,7



	T1	T4
Осенний период	20,3	23,30
Зимний период	15	17,7
Весенний период	7	8,7

Рис. 2. Среднесуточные концентрации оксида углерода и сернистого ангидрида в воздухе примагистральных территорий (в кратности ПДК) 2018-2019гг.

В ходе инвентаризации источников загрязнения атмосферного воздуха, было выявлено, что основной вклад в загрязнение данного района исследования вносят передвижные источники выброса – автотранспорт. На основании измерения уровня загрязнения атмосферного воздуха инструментальными методами анализа и определения интенсивности движения транспорта было проведено ранжирование точек (результаты ранжирование представлены на рис. 3).



Рис. 3. Результаты условного ранжирования выбранных точек

Таким образом, условно чистой является Т3, точки со средней загрязненностью Т1 и Т2, к условно загрязненной относится Т4, Т5 – наиболее чистая территория - контрольная точка.

На данной территории в период с осени 2019 года по 2020 осуществлялись различные ремонтные работы дорожного покрытия.

Какие бы то ни было, природоохранные мероприятия по отношению к древесным насаждениям не проводились.

В 2018 и 2019 годах была произведена инвентаризация 843 хвойных насаждений и выявлены основные виды повреждений: повреждение целостности коры дерева, повреждение хвои (некроз и биологическое поражение хвои), искривление ствола, суховершинность и изреженность кроны дерева. Результаты исследований представлены на рис.4.

В 2019 жизненное состояние деревьев значительно ухудшилось. Видна динамика уменьшения здоровых деревьев на 2 %, ослабленных на 19%; увеличение тенденции к сильно ослабленным деревьям на 4% и усыхающих на 17%. При оценке жизненного состояния использо-

вался метод Ярмишко «Определение жизненного состояния по биоморфологическим показателям». [2,3,8,11,12].

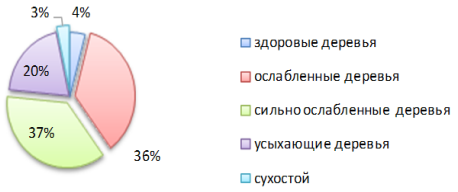


Рис. 4. Диаграмма жизненного состояния сосны крымской за 2018-2019 года

Анализируя жизненное состояние сосны крымской в каждой точке, по сравнению с контролем наблюдается увеличение количества деревьев с видимыми повреждениями от 50% до 98%. Также в Т1 и Т3 происходит увеличение сильно ослабленных деревьев в Т4 усыхающих деревьев в 1,2 раза. Наибольшие изменения произошли в Т2а и Т2б, так как в 2019 году в районе исследования проводились работы по реконструкции дороги, что привело к увеличению антропогенной нагрузки и ухудшению жизненного состояния древесных насаждений. Кроме того, что в данной точке 100% деревьев имеют биологическое загрязнение. На рис. 5-6 представлены гистограммы соотношений ослабленных и сухих деревьев к общему их количеству во всех точках исследования.

В контрольной точке Т5 из общего количества деревьев ослабленными являются 8%, что в 12,2 раза меньше, чем в Т2б (97,4% ослабленных деревьев от общего количества), и в 7,18 раза меньше, чем в Т3 (57,45% ослабленных деревьев от общего количества). Основными повреждениями P. nigra subsp. Pallasiana являются повреждение коры деревьев, повреждение хвои (наличие некроза), повреждение насекомыми-вредителями, суховершинность, изреженность кроны и искривление ствола дерева.

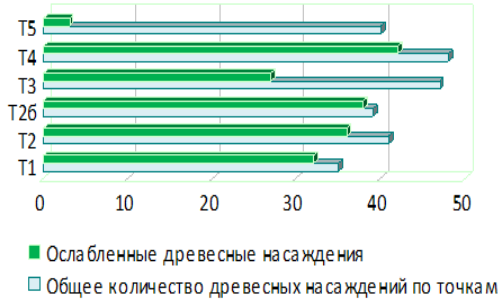


Рис. 5.Соотношение ослабленных деревьев к их общему количеству во всех точках исследований

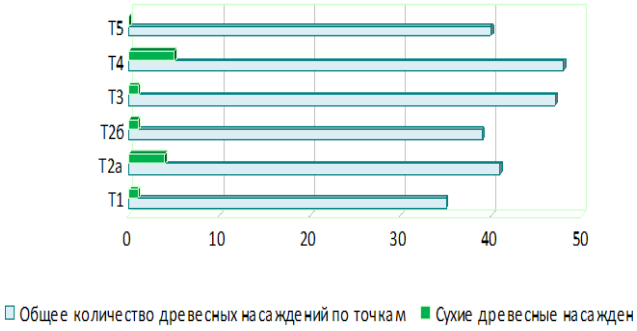


Рис. 6. Соотношение сухих деревьев к их общему количеству во всех точках исследований

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что в Т5 сухих деревьев не наблюдается, в Т3 («условно чистой») засохших деревьев от их общего количества насчитывается 2,13%, а в Т4 («условно загрязненной») - 10,44%, что в 4,9 раза больше, чем в Т3.

По жизненному состоянию древесных насаждений можно судить, о том, что большая часть деревьев имеет разную степень поражения и о том, что в разных точках процентное соотношение здоровых и ослабленных деревьев отличается. В зависимости от интенсивности антропогенной нагрузки увеличивается количество ослабленных, поврежденных и погибших деревьев.

В сентябре 2018 года при оценке жизненного состояния визуальными методами процент древесных насаждений с видимыми повреждениями составлял около 50%, а в сентябре 2019 года – резко увеличился и составил 86%.

Для выполнения санитарно – гигиенических, декративно – художественных и рекреационных функций растения должны быть здоровыми и газоустойчивыми, каким по литературным данным и является *P. nigra subsp. Pallasiana*. Проводя лабораторные исследования по биохимическим показателям, были получены следующие результаты: активность каталазы в 2018 году в среднем в 1,03 раза больше, чем за 2019 год. Активность пероксидазы в 2018 году в среднем меньше в 1,09 раза, чем в 2019 году. Содержание хлорофилла в 2018 году больше в 1,1 раза, чем в 2019 году. Содержание органического вещества в 2018 году больше в 1,18 раза, чем в 2019 году. Содержание аскорбиновой кислоты в хвое в 2018 году меньше в 1,06 раза, чем в 2019 году. В Т2 активность каталазы в 2018 году больше в 1,07 раза, чем в 2019; активность

пероксидазы меньше в 1,3 раза; содержание хлорофилла больше в 1,2 раза; содержание органического вещества больше в 1,3 раза; содержание аскорбиновой кислоты больше в 1,2 раза. Из этого следует, что показания активности ферментов АОС и содержание органического вещества снижается в результате интенсивной антропогенной нагрузки и приводят к тому, что показатели жизненного состояния *P. nigra subsp. Pallasiana* снижаются. Также при поведении сравнения между условно чистыми и условно загрязненными точками следует отметить, что активность каталазы в условно чистых точках больше в 3,5 раза по сравнению с условно загрязненной. Активность пероксидазы в условно чистых точках меньше в 4,6 раза по сравнению с условно загрязненной. Содержание хлорофилла в условно чистых точках больше в 3,8 раза, чем в условно загрязненной. Содержание органического вещества в условно чистых точках больше в 1,75 раза, чем у условно загрязненной. Содержание аскорбиновой кислоты в условно чистых точках больше в 1,7 раза по сравнению с загрязненной точкой и больше в 1,7 раза по сравнению с Т2. Что так же подтверждает полученные ранее выводы.

При анализе полученных данных (по результатам исследований 2019 года) было выявлено, что к абсолютно здоровым хвойным насаждениям, которые в полной мере выполняют свои экологические функции можно отнести 4% древесных насаждений. К сухостою относятся 3% деревьев, которые необходимо вырубить. Частично свои экологические функции способны выполнять и слабо ослабленные древесные насаждения, что составляет 20% от их общего количества. Ослабленные, сильно ослабленные и усыхающие деревья, процент которых составляет 69% от общего количества древесных насаждений, имеют различные поражения на морфологическом уровне и выполнять свои экологические функции не могут.

При более детальном исследовании в 2019 году было выявлено биологическое поражение хвои Веретеновидная сосновая щитовка *Anamaspis Loewi Colvee*. В ходе проведения инвентаризации хвойных насаждений было выявлено, что 95% деревьев имеют биологическое поражение *Anamaspis Loewi Colvee.* Биологическое загрязнение в 2018 году не было выявлено. В дальнейшим был проведен ряд экспериментов по применению препаратов, инсектицидов (в частности, «Актара») для снижения уровня биологического загрязнения. Полученные результаты показали эффективность использования данного препарата на исследуемых объектах, однако в целом биологическое загрязнение требует дальнейших исследований. В целом результаты исследований показали значительное усиление биологического воздействия в прямой зависимости от интенсивности антропогенного загрязнения.

Заключение

В ходе исследований проведен анализ *P. nigra subsp. Pallasiana* по биоморфологическим и биохимическим признакам. Оценивая жизненное состояние, газоустойчивого древесного насаждения, из-за постоянной высокой интенсивности антропогенной нагрузки, показатели жизненного состояния *P. nigra subsp. Pallasiana* снижаются. Из этого можно сделать вывод, что данный вид не может выполнять в полной мере свои экологические функции, что и подтвердили методы по определению активности АОС ферментов, содержания хлорофилла и органического вещества в хвое.

К рекомендациям позволяющим минимизировать последствия антропогенной нагрузки на хвойные насаждения ЗНОП г. Севастополь на сегодняшний день можно отнести: опрыскивание и полив инсектицидом «Актара» древесных насаждений для уничтожения *Anamaspis Loewi Colvee*, высаживание новых хвойных насаждений, взамен усыхающих. Во избежание таких пагубных последствий в дальнейшем рекомендуем: проведение постоянного контроля за состоянием ЗНОП, измерение уровня загрязнения атмосферного воздуха и почвенного покрова, установка защитных экранов, внесение удобрений в почвенный покров. При реконструкции дорожного покрытия: ограждение корневой системы ЗНОП досками, установка защитных барьеров от попадания поллютантов как на древесные насаждения, так и на почвенный покров.

Список литературы

1. 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
2. Николаевский В.С. Биологические основы газоустойчивости растений. - Новосибирск, Наука, 1979. - 280 с.
3. Бухарина И.Л. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде: монография / Бухарина И.Л., Поварницкая Т.М., Ведерников К.Е. – Ижевск: ФГОУ

ФПО Ижевская ГСХА, 2007. – 216 с.
4. Зеленые насаждения как средство улучшения экологии города. Соловьева О.С. и др. 2010. – Научная электронная библиотека КиберЛенинка. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/
5. Экологическая безопасность транспортных потоков. Учебное пособие под редакцией А.Б. Дьякова Москва Транспорт – 1990г.
6. Климова Ю.Ю., Косовская М.А., Хренова Т.К. Анализ проблемы техногенного аэрозагрязнения Севастополя В сборнике: Сохранение биологического разнообразия – основа устойчивого развития./ Материалы Всероссийской заочной научно-практической конференции с международным участием. 2016. С. 170-178.
7. Шман С.С., Шинкаренко А.А., Костылев С.С., Раджабов В.Н., Семенова Е.С., Косовская М.А., 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.
8. 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.
9. Чернышенко О.В. Поглотительная способность и газоустойчивость древесных растений в условиях города. – М.: Изд-во МГУЛ, 2002. – 120 с.
10. Селье Г. Стресс без дистресса / Г. Селье. – М: Прогресс, 1979. – 123 с.
11. Asada K. The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons // Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. – 1999. – V. 50. – P. 601-639.
12. Palatnik J.F., Carrillo N., Valle E.M. The role of photosynthetic electron transport in the oxidative degradation of chloroplastic glutamine synthetase // Plant Physiol. – 1999. – V. 121. – P. 471-478.

References

1. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Khrenova T.K., Kashirina E.S. Assessment of the state of atmospheric air in the main areas of Sevastopol Power plants and technologies. 2020.Vol. 6.No. 1.P. 159-164
2. Nikolaevsky V.S. Biological bases of plant gas resistance. - Novosibirsk, Nauka, 1979.- 280 p.
3. Bukharina I.L. Ecological and biological characteristics of woody plants in an urbanized environment: monograph / Bukharina I.L., Povarnitskaya T.M., Vedernikov K.E. - Izhevsk: FGOU FPO Izhevsk State Agricultural Academy, 2007 .- 216 p.
4. Green spaces as a means of improving the ecology of the city. O.S. Solovieva et al. 2010. - Cyber-Leninka Scientific Electronic Library. - Access mode: https://cyberleninka.ru/
5. Environmental safe of traffic flows. Study guide edited by A.B. Dyakova Moscow Transport - 1990
6. Klimova Yu.Yu., Kosovskaya M.A., Khrenova T.K. Analysis of the problem of technogenic aerosolization of Sevastopol In the collection: Conservation of biological diversity - the basis of sustainable development. Materials of the All-Russian correspondence scientific and practical conference with international participation. 2016.P. 170-178.
7. Shman S.S., Shinkarenko A.A., Kostylev S.S., Radzhabov V.N., Semenova E.S., Kosovskaya M.A., Khrenova T.K. Analysis of the quality of the environment of urbanized areas in conditions of road traffic pollution In the collection: Marine research and rational nature management. Materials of the youth scientific conference. 2018.P. 295-297.
8. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Aleksandrova S.S., Shinkorenko A.A., Yakimenko E.Yu. Analysis of the state of atmospheric air of the main highways 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.P. 834-839.
9. Chernyshenko O.V. Absorption capacity and gas resistance of woody plants in urban conditions. - M .: Publishing house MGUL, 2002 .- 120 p.
10. Selye G. Stress without distress / G. Selye. - M: Progress, 1979 .- 123 p.
11. Asada K. The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons // Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. – 1999. – V. 50. – P. 601-639.
12. Palatnik J.F., Carrillo N., Valle E.M. The role of photosynthetic electron transport in the oxidative degradation of chloroplastic glutamine synthetase // Plant Physiol. – 1999. – V. 121. – P. 471-478.

УДК 57.044

Оценка динамики изменения степени аэрозагрязнения воздуха г. Севастополя

М.А. Косовская, Н.Н. Ленивенко, Н.В. Лямина
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, MAKosovskaya@sevsu.ru, ninamypost@yandex.ru, NVLyamina@sevsu.ru

Статья поступила 12.02.2021 г.; после доработки 16.02.2021 г.

Аннотация
В процессе исследования была проведена оценка степени аэрозагрязнения г.Севастополя по основным поллютантам на период с 1.01.2015 по 31.12.2019, проведен анализ источников загрязнения атмосферного воздуха, выявлении причина изменения качественного и количественного состава загрязнения атмосферного воздуха

Ключевые слова: загрязнение воздуха, мониторинг, статистические данные, степень загрязнения, поллютанты, эксгалаты, источники загрязнения

Assessment of the dynamics of changes in the degree of air pollution in Sevastopol

M.A. Kosovskaya, N.N. Lenivenko N.V. Lyamina
Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, MAKosovskaya@sevsu.ru, ninamypost@yandex.ru, NVLyamina@sevsu.ru

Received 12.02.2021 y.; received in final form 16.02.2021 y.

Abstract
In the course of the study, an assessment was made of the degree of air pollution in Sevastopol by the main pollutants for the period from 01.01.2015 to 31.12.2019, the sources of atmospheric air pollution were analyzed, the cause of changes in the qualitative and quantitative composition of atmospheric air pollution was identified.

Keywords: air pollution, monitoring, statistical data, degree of pollution, pollutants, exgalates, sources of pollution

Введение

Атмосферный воздух является важнейшей частью среды обитания человека. Атмосфера защищает Землю от перегревания, ультрафиолетового излучения и солнечной радиации, в ней формируется климат, а также содержатся вещества, жизненно необходимые для всех живых организмов нашей планеты. [1]

Согласно многолетним исследованиям качества окружающей среды, к числу приоритетных факторов можно отнести именно степень загрязнения атмосферного воздуха. Аэрозагрязнение влияет на показатели общего состояния растительности, на здоровье населения, на изменение состояние урбаносреды в целом. Степень загрязнённости атмосферы Севастополя, как любого города, определяется как химическим составом вредных загрязняющих веществ, так и их концентрацией, образованных в процессе функционирования производства, котельных, работы автотранспорта, а также их размещения на городской территории и метеорологических условий, которые влияют на процессы рассеивания. На перенос и рассеивание вредных примесей, поступающих в атмосферу, существенное влияние оказывают метеорологические условия, такие как: наличие осадков, тума-

нов, сила ветра и его направление и т.д. В отдельные периоды, когда эти условия способствуют накоплению вредных веществ в нижнем слое атмосферы, концентрации примесей в воздухе могут резко возрастать. [2]

Осуществление мероприятий, направленных на снижение уровня загрязнения воздуха в городах до нормальных показателей, нередко требует длительного времени. Практически единственным путем улучшения состояния воздушного бассейна в городах без значительных материальных затрат является прогноз наступления таких неблагоприятных условий и заблаговременное предотвращение высоких уровней загрязнения воздуха путем сокращения выбросов. [2,3,4,5,6] Для осуществления таких превентивных мероприятий необходим тщательно ведущейся контроль состояния атмосферного воздуха.

Контроль состояния атмосферного воздуха осуществляется посредством государственного мониторинга, который проводится на стационарном посту Государственной наблюдательной сети Федерального государственного бюджетного учреждения «Крымское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», Госпитальный спуск 1. Данная станция проводит наблюдения, как за стационарными, так и передвижными источниками загрязнения атмосферного воздуха. Замеры проводятся по основным загрязняющим веществам. Проводится контроль концентраций диоксида серы, диоксида азота, оксида углерода, формальдегида и взвешенные вещества в соответствии с СанПиНом 2.1.6.1032-01 [7] «Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест, Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы», а также ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Гигиенические нормативы» и «Руководством по контролю загрязнения атмосферы». [8,9] Однако, как показали результаты многолетних исследований такого контроля недостаточно. [10,11,12,13,14,15,16,17]

Постановка цели научного исследования

Согласно статистическим данным [2,3,4,5,6] изменения состояние атмосферного воздуха г. Севастополя с 2015-2019 по основному составу поллютантов не наблюдалось. Однако, биоиндикационные наблюдения, проводимые в течение 2019 и 2020, выявили значительные изменения как качественного, та и количественного состава аэрополлютантов [16,17].

Цель проводимых исследований – анализ динамики загрязнений атмосферного воздуха города и оценка источников данных изменений.

В исследованиях для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- анализ статистических данных по основным поллютантам на период с 1.01.2015 по 31.12.2019);
- анализ источников загрязнения атмосферного воздуха;
- анализ причин изменения динамики качественного состава основных аэрозагрязнений.

Описание исследования

Согласно многолетним исследованиям качества окружающей среды, к числу приоритетных факторов, влияющих на степень загрязнения атмосферного воздуха, являются антропогенные источники, выбрасывающие значительное количество поллютантов и эксгалатов, которые влияет на показатели общего состояния растительности и здоровья населения. [11,13,17] Степень загрязнённости атмосферы Севастополя целиком зависит от технологических параметров и химического состава вредных загрязняющих веществ, образованных в процессе функционирования производства, котельных, работы автотранспорта, а также их распределение на городской территории, и режимов метеорологических явлений и величин, с учетом природных условий. [6]

На территории города Севастополя мониторинг состояния атмосферного воздуха, за последние 10 лет, проводился при помощи стационарного поста, расположенного на Павловском мысу. За исследуемый период (с 01 января 2015 года по 31 декабрь 2019 г.) было произведено 5795 исследований отобранных проб воздуха из которых, на стационарном посту было отобрано 3405, у автомагистралей 204, в зоне влияния промышленных предприятий подфакельных и маршрутных 2186 проб. [2,3,4,5,6]

Отбор и исследования проб атмосферного воздуха осуществлялся в течении исследуемого периода еженедельно в селитебной зоне на пяти согласованных точках, расположенных в местах в которых оказывается влияние грузовыми терминалами, путем определения концентрации

оксида углерода и взвешенных веществ. Результаты полученных данных [2,3,4,5,6], представлены в табл. 1.

***Таблица 1**. Объемы выбросов в атмосферу загрязняющих веществ от стационарных источников, тонн*

Объемы выбросов загрязняющих веществ, всего	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
	1709	4367	5377	3034	5511
в том числе:					
- твердые	447	497	1286	159	115
-газообразные и жидкие	1263	3871	4092	2875	5396
в том числе:					
- диоксида серы	154	99	32	18	36
- оксида углерода	221	448	507	71	1103
- оксида азота (в пересчете на NO_2)	378	752	884	195	1324
- углеводороды (Без ЛОС)	333	2266	2305	2436	2686
-летучие органические соединения (ЛОС)	129	168	239	80,65	173
- Прочие газообразные и жидкие	47	138	125	73	74

Среди газообразных загрязняющих веществ основную массу от общего объема выбросов в атмосферу составляет углеводороды (без ЛОС) — 84,73% (2018 г.) и 49,78% (2019 г.), на втором месте по объему выбросов стоит оксида азота — 6,78% (2018 г.) и 24,52% (2019 г.), оксид углерода — 2,5% (2018 г.) и 20,44% (2019 г.). ЛОС (летучие органические соединения) — 2,80% и 3,21% (соответственно 2018 г. и 2019 г.), диоксид серы — 0,63% и 0,67% (соответственно 2018 г. и 2019 г.). [2,3,4,5,6]

Однако, не смотря на значительное увеличение количества выбрасываемых загрязняющих веществ, превышение нормативных показателей в течение данного периода наблюдения было выявлено только по взвешенным веществам (4 раза, максимальное превышение - 3,6 ПДК (май 2018)), по остальным показателям до 2019 года превышение показателей выявлено не было [2,3,4,5]. В 2019 году наблюдалось 3 превышения ПДК по оксиду углерода, из которых, в 2-х пробах отмечалось превышение ПДК от 1,1 до 2, и в одной пробе отмечалось превышение ПДК от 2,1 до 5. Превышение по взвешенным веществам наблюдалась в течение всего 2019 года (кроме осенних месяцев). [6] Результаты замеров приведены на рис. 1.

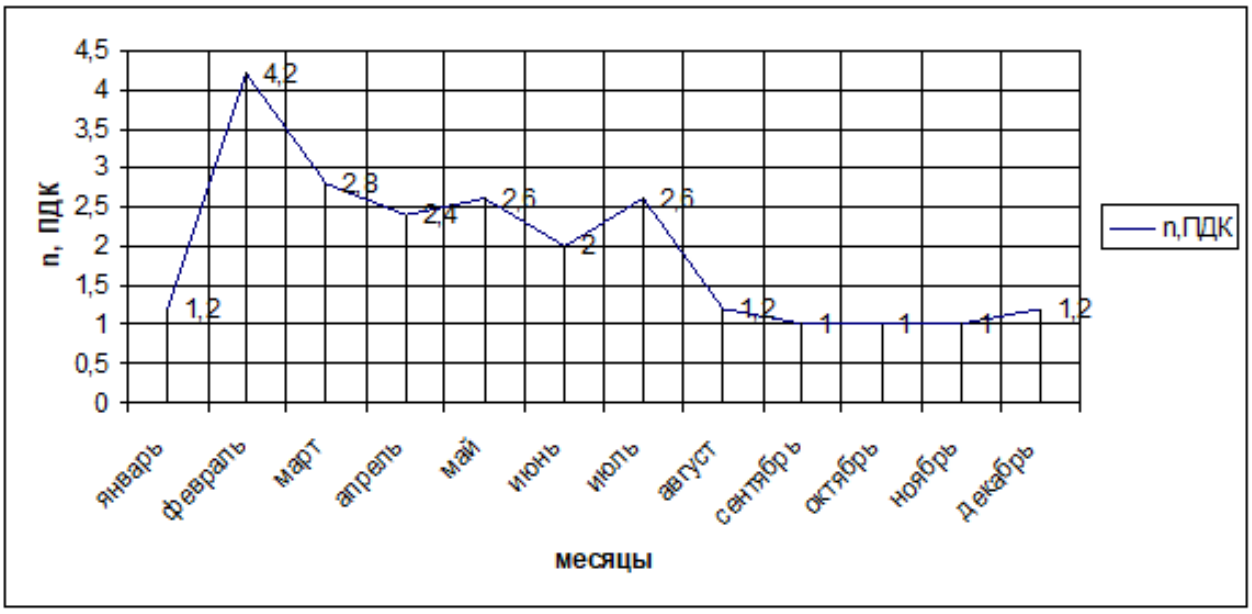


Рис. 2. Изменение концентрации взвешенных веществ в 2019 году

Опубликованные Такое резкое изменение степени загрязнения атмосферного воздуха может быть вызвано несколькими причинами:

- изменение количества передвижных и стационарных источников воздействия на аэрозагрязнение;
- изменение метеорологических условий.

Метеорологические условия так же оказывают существенное влияние на перенос вредных примесей, на их рассеивания. К основным относятся: направление и сила ветра наличие тумана и периодичность осадков, и другие. Концентрации примесей в отдельные периоды, когда возникают условия, при которых в нижних слоях атмосферы происходит накопление вредных веществ, может увеличиться, рассеивающая способность атмосферы ухудшаться и как следствие увеличивается антропогенное воздействия на окружающую среду. Однако, значительных изменений в метеорологических условий на период исследования не происходило [6].

Результаты исследований

Севастопольским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиалом Федерального государственного бюджетного учреждения «Крымское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» в 2019 году было сделано несколько предупреждающих возможного наступления неблагоприятных метеоусловий, которые могли бы привести к изменению степени загрязнения атмосферного воздуха. Всего за 2019 год Севастопольским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды было составлено 730 прогнозов НМУ, из них 30 предупреждений о кратковременных НМУ по Севастополю. [6] Благодаря своевременным прогнозом изменений метеоусловий не выявлено.

Таким образом, основными источниками изменения степени загрязнения атмосферного воздуха г. Севастополя являются передвижные и стационарные источники.

В результате проведенных инвентаризаций источников за период исследований с 2015 по 2020 года [11,12,13,14,15,16] и данных статотчетности [2,3,4,5,6] было выявлено, что основными источниками загрязнения атмосферного воздуха г.Севастополя являются автотранспорт и промышленные предприятия. Причем, в каждом административного округе города картина складывается различная по проценту вклада загрязнителей в общее количество выбросов.

По видам экономической деятельности наибольший вклад в общий объем выбросов загрязняющих веществ в целом по городу Севастополю вносят объекты теплоэнергетического комплекса и автотранспорт [6].

Также значительный вклад в загрязнение атмосферного воздуха внесли выбросы вредных (загрязняющих) веществ с тела полигона твердых коммунальных отходов, расположенного в Первомайской балке Балаклавского муниципального округа, и сбора, обработки и утилизации отходов (включая обработки вторичного сырья) [2,3,4,5,6]. В целом, с 2015 года не меняется перечень основных предприятий загрязнителей:

- ООО «Благоустройство города Севастополя»;
- ГУПС «Севтеплоэнерго»;
- АО «Мобильные ГТЭС»;
- ГУПС «Водоканал»;
- АО «Балаклавское рудоуправление им. А.М. Горького»;
- ООО «ВО «Технопромэкспорт»;
- ООО «Инкерманский завод марочных вин»;
- ГУП РК «Черноморнефтегаз».

Меняется только процентный вклад в общее загрязнение от данных источников Такое изменение вклада, привело к резкому изменению качественного состава загрязнителей. На рисунке 2 приведен процент валовых выбросов от стационарных источников.

По сравнению с предыдущими годами процент вклада сильно изменился от 0% в 2015 году от ООО «Благоустройство города Севастополя» до 53% в 2018 году.

Причем, в 2019 году кардинально меняется процент вклада по районам от 96% в Ленинском муниципальном округе (МО) до 12% в Гагаринском МО. [16]. Проводимая в 2019 году реконструкция дорог, парков, скверов, ул.Б.Морская значительно увеличила количества взвешенных веществ в атмосферном воздухе города.

Так же основной вклад в загрязнения атмосферного воздуха (вредными) загрязняющими веществами вносит образовавшиеся в процессе функционирования теплоэнергетический комплекс. Расположение котельных на территории г. Севастополя различно.

Наибольшее количество котельных находится в Ленинском МО, а наиболее мощные котельные находятся в Гагаринском МО. Всего в эксплуатации предприятия находятся 140 котельных и 1 Севастопольская ТЭЦ. Основным

видом топлива для теплоснабжения города Севастополя является природный газ, который используется на 107 котельных и Севастопольской ТЭЦ. Причем, большая часть крупных котельных расположена в Гагаринском МО, такие котельные значительно воздействуют на окружающую природную среду. В Ленинском МО за счет использования «беструбных» внутриквартирных отопительных систем, обстановка в осенне-зимний период в 2019 году улучшилась. [17]

Кроме того, передвижные источники так же изменили картину степени аэрозагрязнения.

Автомобильный транспорт остается одним из основных источников загрязнения атмосферного воздуха города Севастополя. Он является мощным источником его химического, шумового и механического загрязнения.

Продукты сгорания различных видов топлива для двигателей внутреннего сгорания содержат различные компоненты, загрязняющие окружающую среду: оксид углерода, несгоревшие углеводороды, оксиды азота и сажу. [16,18] Выбросы двигателей внутреннего сгорания содержат множество вредных веществ: оксидов углерода и азота, формальдегида, в случае дизельного топлива оксидов серы и сажи. Кроме перечисленных соединений, в выхлопных газах могут присутствовать альдегиды, оксиды серы и другие вредные (загрязняющие) вещества.

Динамика последних лет показывает устойчивый рост количества автотранспортных средств, зарегистрированных в городе Севастополе. По данным отдела ГИБДД УМВД России по г. Севастополю на 1 января 2020 года зарегистрировано 152 768 транспортных средства.

Официально опубликованные на сайте Федеральной службы государственной статистики статистические данные по городу Севастополю свидетельствуют о значительном приросте автомобильного транспорта за последние годы. Количество единиц автомобильного транспорта, как легкого, так и грузового постоянно растет. Количества официально зарегистрированного автотранспорта в г. Севастополе с 2015 года выросло в 7 раз [15,16]. В табл. 2 представлено количество автомобилей в городе, согласно данных Росстата. [20].

Анализируя объемы транспортных перевозок в городе Севастополе, отмечается увеличение объемов грузо- и пассажироперевозки.

По данным Федеральной службы государственной статистики, выбросы загрязняющих веществ от автотранспорта в 2019 году составили 8,2957 тыс. тонн.

Значительное снижение количества выбрасываемых поллютантов вызвано обновлением транспортных средств (использование зарубежных и отечественных автомобилей оснащенных системами очистки выбросов) и созданием системы контроля подразделениями экологического надзора ГИБДД УМВД России по г. Севастополю.

Таким образом, анализируя вклад передвижных источников в общем объеме выбросов вредных (загрязняющих) веществ в городе Севастополе, можно сделать вывод, что валовые выбросы от автотранспорта превышают валовый выброс от стационарных источников.

При этом индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) за исследуемый период не превысил значение в 2,5 (1,5 (2015 год), 1,75 (2016год), 2.21 (2017 год), 2,32 (2018 год), 2,49 (2019 год) соответственно). [2,3,4,5,6] Такие индексы оцениваются как низкие.

Проведенные в 2019 и 2020 году исследования древесных насаждений показали [16], что такое высокое содержание взвешенных веществ губительно сказывается на всех зеленых насаждениях.

Проводимая реконструкция города строительными предприятиями без должных природоохранных мероприятий, неминуемо приведет к деградации зеленых зон города. А увеличение количества автомобилей, изменение транспортной обстановки на дорогах может привести к ухудшению здоровья населения города.

Такое изменение вызвано, главным образом значительным увеличением количества населения города, связанного с притоком населения с материка.

По предварительным данным количество населения на конец 2020 год, составил чуть меньше полумиллиона, по официальным данным, фактически оно приближается к 600 тыс. человек. Т.е. за последние годы увеличение произошло на 50%.

В летние месяцы количество автомобилей добавляется в связи с курортным сезоном. Увеличением количества автомобилей, естественно, связано с увеличением загрязнения воздуха города выбросами двигателей внутреннего сгорания.

В табл. 3 представлены объемы выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта за 2016 - 2019 г. по г. Севастополю [2,3,4,5,6].

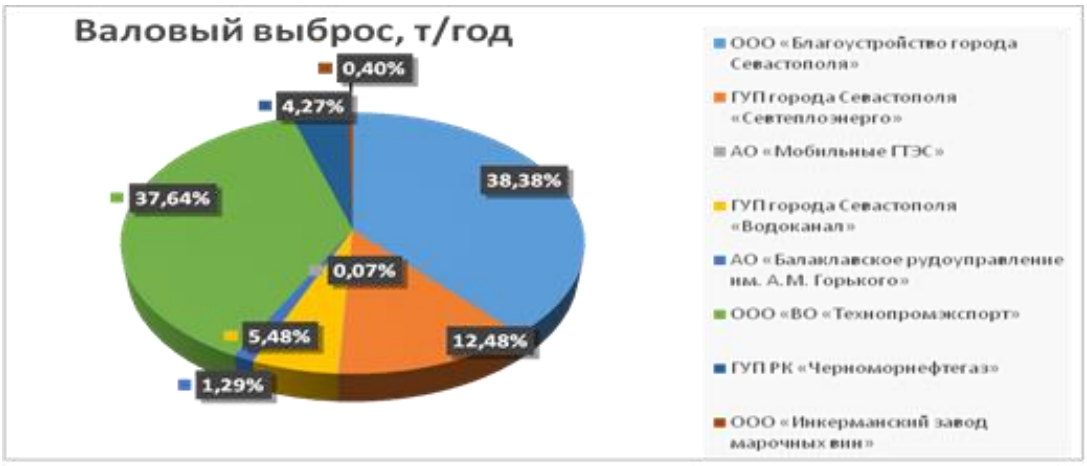


Рис. 6. Валовый выброс от основных источников загрязнения атмосферного воздуха в 2019 году [6]

Таблица 2 *Количество городского автомобильного транспорта в г. Севастополе, 2016-2019 гг.*

Вид транспортного средства	Количество единиц транспортных средств (шт.):			
	2016	2017	2018	2019
Автобусы	370	1445	2176	2260
Грузовые	2687	6400	10937	10427
Легковые	18365	96958	135035	140081
Всего:	21422	104803	148148	152768

Таблица 3 *Объем выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта за 2016 - 2019 г. по г.Севастополю*

Наименование загрязняющего вещества	Объем загрязняющих веществ (тыс. т)			
	2016	2017	2018	2019
Азота диоксид	1,7	2,5	3,9	1,643
Аммиак	0,06	0,08	0,11	0,16
Ангидрид сернистый	0,09	0,11	0,18	0,0774
ЛОС	2,3	2,5	3,8	0,2747
Метан	0,1	0,1	0,15	0,0249
Сажа	0,03	0,03	0,05	0,0288
Углерод оксид	15,9	17,9	27,4	6,0869
Всего:	20,18	23,22	35,59	8,2957

Заключение

В результате проведенных анализов были сделаны следующие выводы:

1. На период исследования с 01.10.2015 по 31.12.2019 общее количество выбросов от стационарных источников увеличился в 5 раз. Среди газообразных загрязняющих веществ основную массу от общего объема выбросов в атмосферу составили углеводороды (без ЛОС) — 84,73% (2018 г.) и 49,78% (2019 г.), на втором месте по объему выбросов стоит оксида азота — 6,78% (2018 г.) и 24,52% (2019 г.), оксид углерода — 2,5% (2018 г.) и 20,44% (2019 г.). ЛОС (летучие органические соединения) — 2,80% и 3,21% (соответственно 2018 г. и 2019 г.), диоксид серы — 0,63% и 0,67% (соответственно 2018 г. и 2019 г.). Превышение ПДК по основным поллютантам до 2108 выявлено не было. В 2109 году наблюдалось превышении ПДК по взвешенным веществам до 4,2ПДК. При этом выявлено снижение уровня выбросов от передвижных источников в 2,4 раза, не смотря на, увеличение численности транспортных средств на 50%.

При этом индексы загрязнения атмосферы (ИЗА) за исследуемый период оцениваются как низкие.

2. Основными стационарными источниками загрязнения атмосферного воздуха остаются следующие предприятия-загрязнители:

- ООО «Благоустройство города Севастополя»;
- ГУПС «Севтеплоэнерго»;
- АО «Мобильные ГТЭС»;
- ГУПС «Водоканал»;
- АО «Балаклавское рудоуправление им.

А.М. Горького»;
- ООО «ВО «Технопромэкспорт»;
- ООО «Инкерманский завод марочных вин»;
- ГУП РК «Черноморнефтегаз».

Наибольший процент валового выброса и как следствие, основными загрязнителями г.Севастополя в 2019 году являются: ООО «Благоустройство города Севастополя», ГУПС «Севтеплоэнерго» и автотранспорт.

3. Основными аэрополлютантами в воздухе г.Севастополя в 2019 году были выявлены взвешенный вещества. Источником, которых были проводимые реставрационные работы дорог, парков, скверов, зданий и сооружений, продукты неполного сгорания в отопительный сезон котельных, строительная техника, автотранспорт. Проводимая реконструкция города строительными организациями без должных природоохранных мероприятий, неминуемо приводит к деградации зеленых зон города.

Рекомендацией для снижения уровня взвешенных веществ это выполнение, в полной мере, всех природоохранных мероприятий включая: размещение строительных защитных экранов, создание защитных ограждений вокруг деревьев, уменьшение количества крупных котельных, перевод котельных на природный газ (план перевода угольных котельных на газ до 2023 года).

Главным передвижным источником загрязнения остается постоянно увеличивающее количество транспорта, как личного и общественного, так и грузового, связанного с увеличением количества жителей.

Рекомендуется создание дополнительных развязок и объездных дорог, которые выведут грузовой транспорт за границы города, жесткий контроль за выбросами всех видов автотранспорта.

В заключении необходимо отметить, что многолетние исследования атмосферного воздуха методами биоиндикации показывают недостаточность инструментальног контроля состояния окружающей среды.

В связи с этим фактом, приходится признать необходимость модернизации инструментальной базы существующих служб, осуществляющих контроль, увеличение количества постов на основании увеличения населения города согласно требованием ГОСТа, возможно, увеличение количества контролируемых загрязнителей и более пристальное внимание руководства города к экологическим проблемам города, хотя бы в плане развития туристического кластера города.

Список литературы

1. Севприроднадзор. Охрана атмосферного воздуха. Общие сведения. [Электронный ресурс] – URL: http://ecosev.ru/deyatelnost/okhrana-atmosfernogo-vozdukha/345-obshchie-svedeniya
2. Ежегодный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города федерального значения Севастополя за 2016 год [Электронный ресурс]. - URL: http://ecosev.ru/images/gosdoklad/gosdoklad_Sev_2015.pdf Ежегодный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города федерального значения Севастополя за 2016 год, утвержден приказом Севприроднадзора от 1.07.2016 № ПР/105
3. Ежегодный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города федерального значения Севастополя за 2016 год [Электронный ресурс]. - URL: http://ecosev.ru/images/gosdoklad/converted_file_eb8f7bea.pdf Ежегодный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города федерального значения Севастополя за 2016 год, утвержден приказом Севприроднадзора от 14.06.2017 № ПР/170
4. Ежегодный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города федерального значения Севастополя за 2017 год [Электронный ресурс]. - URL: https://yadi.sk/d/hZt4uvcC3Yxf9F Ежегодный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города федерального значения Севастополя за 2017 год, утвержден приказом Севприроднадзора от от 15.06.2018 № ПР/298
5. Ежегодный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города федерального значения Севастополя за 2018 год [Электронный ресурс]. - URL: https://yadi.sk/i/QTB0GIDBNcRoBg Ежегодный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города федерального значения Севастополя за 2018 год, утвержден приказом Севприроднадзора от от 14.06.2019 № ПР/238
6. Ежегодный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города федерального значения Севастополя за 2019 год [Электронный ресурс]. - URL: https://yadi.sk/d/jJI62lbtJXeqmQ Ежегодный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города федерального значения Севастополя за 2018 год, утвержден приказом Севприроднадзора от от 1.06.2020 № ПР/144
7. СанПиН 2.1.6.1032-01 «Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест».
8. РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы».
9. ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмо-

сферном воздухе городских и сельских поселений»
10. Климова Ю.Ю., Косовская М.А., Хренова Т.К. Проблема загрязнения воздушного бассейна акватории Севастопольского региона В сборнике: Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов. IV Международный Балтийский морской форум . Главный редактор К.В. Тылик. 2016. С. 190-193
11. Kosovskaya M.A.,Litvakova E. D. Possibility of using morphophysiological indicators of wood plants in bioindication of urban environment pollution International scientific – technical Conference NATURAL DISASTERS AND HUMAN LIFE SAFETY. December 04-06, 2017, Baku, Azerbaijan,Ministry of Education, of Azerbaijan Republic,Azerbaijan University of Architecture and Construction P. 270
12. Климова Ю.Ю., Косовская М.А. Техногенное аэрозагрязнение прибрежной урбанизированной территории г.Севастополя Энергетические установки и технологии. 2016. Т. 2. № 2. С. 57-67.
13. Климова Ю.Ю., Косовская М.А., Хренова Т.К. Анализ проблемы техногенного аэрозагрязнения Севастополя В сборнике: Сохранение биологического разнообразия – основа устойчивого развития. Материалы Всероссийской заочной научно-практической конференции с международным участием. 2016. С. 170-178.
14. 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.
15. Косовская М.А., Лямина Н.В., Ленивенко Н.Н., Савранский Ю.П. Контроль состояния атмосферного воздуха природного парка регионального значения «Максимова дача» 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. 840-845.
16. 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.
17. 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
18. Вредные вещества, выбрасываемые при работе котельных установок, их влияние человека [Электронный ресурс] – URL: http://taketop.ru/articles/energetika/teplosnabgenie/kotelnue-ystan/vozdejstv
19. В.В. Амбарцумян / Экологическая безопасность автомобильного транспорта. Амбарцумян В.В., Носов В.Б. // Научтехлитиздат – Москва, 1999г. – 208 с.
20. База данных Росстата [Электронный ресурс] – URL: https://rosstat.gov.ru/folder/11194

References

1. Sevastopol Natural Surveillance. Protection of atmospheric air. General information. [Electronic resource] - URL: http://eco-sev.ru/deyatelnost/okhrana-atmosfernogo-vozdukha/345-obshchie-svedeniya
2. Annual report on the state and on environmental protection of the city of federal significance of Sevastopol for 2016 [Electronic resource]. - URL: http://ecosev.ru/images/gosdoklad/gosdoklad_Sev_2015.pdf Annual report on the state and protection of the environment of the federal city of Sevastopol for 2016, approved by order of Sevprirodnadzor dated 1.07.2016 No. PR / 105
3. Annual report on the state and protection of the environment of the city of federal significance of Sevastopol for 2016 [Electronic resource]. - URL: http://ecosev.ru/images/gosdoklad/converted_file_eb8f7bea.pdf Annual report on the state and protection of the environment of the federal city of Sevastopol for 2016, approved by order of Sevprirodnadzor dated June 14, 2017 No. PR / 170
4. Annual report on the state and protection of the environment of the city of federal significance of Sevastopol for 2017 [Electronic resource]. - URL: https://yadi.sk/d/hZt4uvcC3Yxf9F Annual report on the state and protection of the environment of the city of federal significance Sevastopol for 2017, approved by order of Sevprirodnadzor dated 15.06.2018 No. PR / 298
5. Annual report on the state and protection of the environment of the city of federal significance of Sevastopol for 2018 [Electronic resource]. - URL: https://yadi.sk/i/QTB0GIDBNcRoBg Annual report on the state and protection of the environment of the federal city of Sevastopol for 2018, approved by order of Sevprirodnadzor dated June 14, 2019 No. PR / 238
6. Annual report on the state and protection of the environment of the federal city of Sevastopol for 2019 [Electronic resource]. - URL: https://yadi.sk/d/jJI62lbtJXeqmQ Annual report on the state and protection of the environment of the

city of federal significance Sevastopol for 2018, approved by order of Sevprirodnadzor dated 1.06.2020 No. PR / 144
7. Sanitary and epidemiological rules 2.1.6.1032-01 "Hygienic requirements for ensuring the quality of atmospheric air in populated areas."
8. WP 52.04.186-89 "Guidelines for the control of air pollution".
9. GN 2.1.6.3492-17 "Maximum permissible concentration (MPC) of pollutants in the air of urban and rural settlements"
10. Klimova Yu.Yu., Kosovskaya M.A., Khrenova T.K. The problem of air pollution in the water area of the Sevastopol region in the collection: Aquatic biological resources, aquaculture and ecology of water bodies. IV International Baltic Maritime Forum. Chief editor K.V. Tylik. 2016.P. 190-193
11. Kosovskaya M.A., Litvakova E. D. Possibility of using morphophysiological indicators of wood plants in bioindication of urban environment pollution International scientific - technical Conference NATURAL DISASTERS AND HUMAN LIFE SAFETY. December 04-06, 2017, Baku, Azerbaijan, Ministry of Education, of Azerbaijan Republic, Azerbaijan University of Architecture and Construction P. 270
12. Klimova Yu.Yu., Kosovskaya M.A. Technogenic aerosolization of the coastal urbanized territory of Sevastopol Power plants and technologies. 2016.Vol. 2.No. 2.P. 57-67.
13. Klimova Yu.Yu., Kosovskaya M.A., Khrenova T.K. Analysis of the problem of technogenic aerosolization of Sevastopol: Conservation of biological diversity - the basis of sustainable development. Materials of the All-Russian correspondence scientific and practical conference with international participation. 2016.P. 170-178.
14. 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 areas in conditions of road traffic pollution: Marine research and rational nature management. Materials of the youth scientific conference. 2018.P. 295-297.
15. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Lenivenko N.N., Savransky Yu.P. Monitoring the state of atmospheric air in the natural park of regional significance "Maksimova Dacha" In the collection: Environmental, industrial and energy safety - 2019. Collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference. Edited by L.I. Lukina, N.V. Lyamina. 2019.P. 840-845.
16. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Aleksandrova S.S., Shinkorenko A.A., Yakimenko E.Yu. Analysis of the state of atmospheric air of the main highways 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.P. 834-839.
17. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Khrenova T.K., Kashirina E.S. Assessment of the state of atmospheric air in the main areas of Sevastopol Power plants and technologies. 2020.Vol. 6.No. 1.P. 159-164
18. Harmful substances emitted during the operation of boiler plants, their human influence [Electronic resource] - URL: http://taketop.ru/articles/energetika/teplosnabgenie/kotelnue-ystan/vozdejstv
19. Ambartsumyan V.V. / Environmental safety of road transport. Ambartsumyan V.V., Nosov V.B. // Nauchtekhlitizdat - Moscow, 1999. - 208 p.
20. Rosstat database [Electronic resource] - URL: https://rosstat.gov.ru/folder/11194

УДК 574.4

Рекомендации по организации фитомониторинга г. Севастополя

М.А. Косовская, Н.В. Лямина, Т.К Хренова, Н.Н.Ленивенко
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, MAKosovskaya@sevsu.ru ,hugo1349@mail.ru, NVLyamina@sevsu.ru, ninamypost@yandex.ru

Статья поступила 22.02.2021 г.; после доработки 25.02.2021 г.

Аннотация

Приведена система рекомендаций по организации фитомониторинга. Разработанная система оценок позволяет не только оценить состояние зеленых насаждений в целом, провести фитомелиорацию городской среды, но и использовать полученные результаты при оценки качества среды методами биоиндикации и биотестирования. Кроме того, массив данных камеральных и полевых исследований позволяет провести прогнозирование развитие экологической ситуации при различных степенях антропогенной нагрузки на урбаносреду.

Ключевые слова: загрязнение воздуха, городская среда, зеленые насаждения, функции зеленых насаждений, интенсивная антропогенная нагрузка, эколого-морфологический анализ, биохимические признаки

Recommendations for the organization of phytomonitoring in Sevastopol

M.A. Kosovskaya, N.V. Lyamina, T.K.Khrenova, N.N. Lenivenko
Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, MAKosovskaya@sevsu.ru , hugo1349@mail.ru , NVLyamina@sevsu.ru, ninamypost@yandex.ru

Received 22.02.2021 y.; received in final form 25.02.2021 y.

Abstract

A system of recommendations for the organization of phytomonitoring is presented. The developed system of assessments makes it possible not only to assess the state of green spaces as a whole, to carry out phytomelioration of the urban environment, but also to use the results obtained when assessing the quality of the environment using bioindication and biotesting methods. In addition, the array of data from cameral and field studies makes it possible to predict the development of the ecological situation at various degrees of anthropogenic load on the urban environment.

Keywords: urban environment, green spaces, functions of green spaces, intense anthropogenic load, ecological and morphological analysis, biochemical signs

Введение

Одним из основных вопросов, рассматриваемых в рамках городской экологической политики, является промышленное загрязнение, интенсивное развитие транспорта крупных городов, которые приводят к значительному загрязнению окружающей среды различными полютантами.

На сегодняшний день проблема контроля состояния зеленых зон городских сред является актуальной в связи с тем, что основная нагрузка по обезвреживанию вредного воздействия ложится на зеленые насаждения мегаполисов. Деревья поглощают и нейтрализуют часть атмосферных выбросов, сохраняя прилегающие территории от пагубного воздействия экотоксикантов [1].

Поступающие в растительный организм вредные компоненты выбросов вызывают широкий спектр изменений, которые можно характеризовать как стресс – индуцируемые.

По мнению Коршикова И.И., Горчаковского П.Л., анализируя состояние зеленых

насаждений города, мы приобретаем возможность определения состояния окружающей среды.[2,3,6]. Особое внимание авторы такие как, Мехова О.П. Егорова Е.И, Евсеева Т.И. Нилов Н.Г. уделяют именно таким методам анализа как биоиндикации и биотестирования. [2.4,5.6,10,11]. Для применения таких методов оценки необходима определенная информационная база данных [1]. При этом, основная задача фитомониторинга, как считает Нилов Н.Г., состоит именно в сборе определенного массива данных. [4,5].

На сегодняшний день все имеющиеся методики по биоиндикации (авторы Мелехова О.П, Егорова Е.И, Захаров В.М. и др) имеют существенные недостатки. [1,7,8]. Основным, из которых является недостаточное количество получаемых в ходе исследования данных, позволяющих делать качественные выводы о состоянии среды [9,12].

Предлагаемая система рекомендаций позволит существенно расширить массивы данных для анализа городской среды. Впервые предлагается оценочная шкалы для диагностики зеленых насаждений, в рамках фитомониторинга.

Постановка цели научного исследования

Цель исследования: разработка системы рекомендаций по организации фитомониторинга как ведущего компонента городской экологической политики.

Полученная в результате реализации данной программы информационная база может быть использована как для перспективного озеленения крупного промышленного города, так и для определения качества среды, используя методы биоиндикации.

Для достижения поставленной цели были разработаны следующие задачи:

1. Разработка структуры мониторинга зеленых насаждений общего пользования;
2. Создание оценочной шкалы для диагностики зеленых насаждений, в рамках фитомониторинга;
3. Создание оценочной шкалы для диагностики древесных насаждений в рамках биоиндикации.

Описание исследования

Фитомониторинг представляет собой постоянную комплексную диагностику состояния растений, а так же это непосредственный и непрерывный контроль за процессами их роста и развития[3,4,6,12,13].

Система фитомониторинга включает в себя три составляющие [3].

Первая - регулярный визуальный осмотр специалистами, отборы образцов растений, оценка общего состояния.

Вторая - систематические лабораторные анализы растений, почвы, воды (атмосферной, грунтовой, поливной). При этом определяют, как обеспеченность растений питательными веществами, так и наличие возбудителей болезней (грибных, бактериальных и вирусных инфекций) концентрации органических веществ, минеральных солей, pH почвенного раствора [14]. И наконец - непрерывная обработка информации поступающей со станций инструментального фитомониторинга. Данный тип мониторинга является частью анализа окружающей природной среды района исследования.

Использование физических, физико-химических, химических методов анализа загрязнений атмосферного воздуха при их высокой точности не может создать полной картины экологической ситуации.

Инструментальный контроль дает информацию о концентрации загрязнителей, присутствующих в воздухе на данный момент времени. Загрязнители, присутствующие в окружающей среде в низких концентрациях, как правило, не отслеживаются, хотя их влияние на природные объекты сохраняется [15,16].

Напротив, природные компоненты урбосреды, и, в первую очередь, растения как объекты фито мониторинга, могут использоваться для получения информации как о недавнем и кратковременном, так и о длительном (хроническом) воздействии загрязняющих веществ в течение определенного периода времени в прошлом. Пороговые концентрации загрязнителей, влияющих на растительные и животные организмы, в том числе и человека, зачастую существенно различаются, причем растения в ряде случаев оказываются более чувствительными сенсорами.

Наконец, анализируя растения в составе зеленых насаждений города, мы приобретаем возможность определения ответных реакций, интегрированных во времени и пространстве

В связи с этим большое значение приобретает мониторинг зеленых насаждений и выявление растений, в разной степени устойчивых к

таким нагрузкам.

Результаты исследований

В ходе многолетних исследований атмосферного воздуха центральных улиц города Севастополя (улиц Ленина, Большая Морская, улиц Центрального Холма, площадей Лазорева, Суворова, Ушакова, Нахимова, а так же центрального парка им Горького и сквера им. Ленинского Комсомола) был получен массив данных [18,19]. Были проведены замеры по основным загрязняющим веществам (сернистый ангидрид, оксиды азота и оксиды углерода) прибором УГ2, так же были исследованы зеленые насаждения на выбранных территориях. В результате была создана структура фитомониторинговых исследования для биоиндикации.

Предлагаемая нами структура мониторинга зеленых насаждений общего пользования приведена на рис. 1. Проводимые исследования включают несколько основных блоков: общая характеристика озелененной территории, анализ биотических и биотических экологических факторов, диагностика состояния зеленых насаждений, устойчивость древесных растений к неблагоприятным факторам городской среды, ферментативная активность, обеспечивающая нейтрализацию различных по происхождению неблагоприятных факторов среды. Полученные данные позволяют, как оценить состояние древесных насаждений, так и оценить состояние окружающей среды, используя методы биоиндикации, и как следствие, спрогнозировать изменение дендроформ и степень возможного загрязнения окружающей природной среды.

Полученная в результате реализации данной программы информационная база послужит для создания эффективно функционирующей системы озеленения и рациональной организации мероприятий по уходу за древесными насаждениями, послужит охране зеленых насаждений и может быть использована при биоиндикации.

Оценочная шкала для диагностики зеленых насаждений

Ключевым блоком, разработанной схемы являются оценка жизнеспособности растений. Разработанная нами оценочная шкала позволит использовать полученные данные не только для контроля качества среды методом биоиндикации, но и для других исследований.

Оценка состояния деревьев исследуемого района города даётся в относительных величинах – баллах. Среди экологических показателей, используемых при оценке жизнеспособности зеленых насаждений, учитывается состояние деревьев, устойчивость древесных растений к неблагоприятным факторам городской среды, ферментативная активность, обеспечивающая нейтрализацию различных по происхождению неблагоприятных факторов среды. Для этих характеристик существуют некие формы отклонения, от которых и определяют уровень состояния. Отклонения чаще всего связны с антропогенными воздействиями, которые и приводят к ухудшению состояния объекта [21-23].

Оценочная шкала разбита от 1 до 6. Чем хуже распределение исследованных показателей проявляется при исследовании объекта, тем меньший балл этот показатель получает. Диагностика состояния зеленых насаждений проводится относительно его жизненного состояния [24,25,26].

Состояние деревьев визуально определяется по сумме основных биоморфологических признаков, какими является густота кроны, ее облиственность или охвоенность, соответствие размеров и цвета листьев и хвои и прироста побегов нормальным для данных видов и данного возраста деревьев, наличие или отсутствие отклонений в строении ствола, кроны, ветвей и побегов, суховершинность или наличие и доля сухих ветвей в кроне, целостность и состояние коры.

6 баллов - деревья здоровые, нормального развития, густо облиственные, окраска и величина листьев нормальные, заболевания и повреждение вредителями единичны или отсутствуют, без механических повреждений;

5 баллов - деревья условно здоровые с неравномерно развитой кроной (в кроне менее 25% сухих ветвей), недостаточно облиственные, заболевания и повреждения вредителями могут быть, но они в начальной стадии, которые можно устранить, с наличием незначительных механических повреждений, не угрожающих их жизни;

4 балла - листва мельче или светлее обычной, хвоя светло-зеленая или сероватая матовая, крона изрежена, сухих ветвей от 25 до - 50%, прирост уменьшен более чем наполовину по сравнению с нормальным. Часто имеются признаки повреждения болезнями и вредителями ствола, корневых лап, ветвей, хвои и листвы, в том числе, попытки или местные поселения стволовых вредителей;

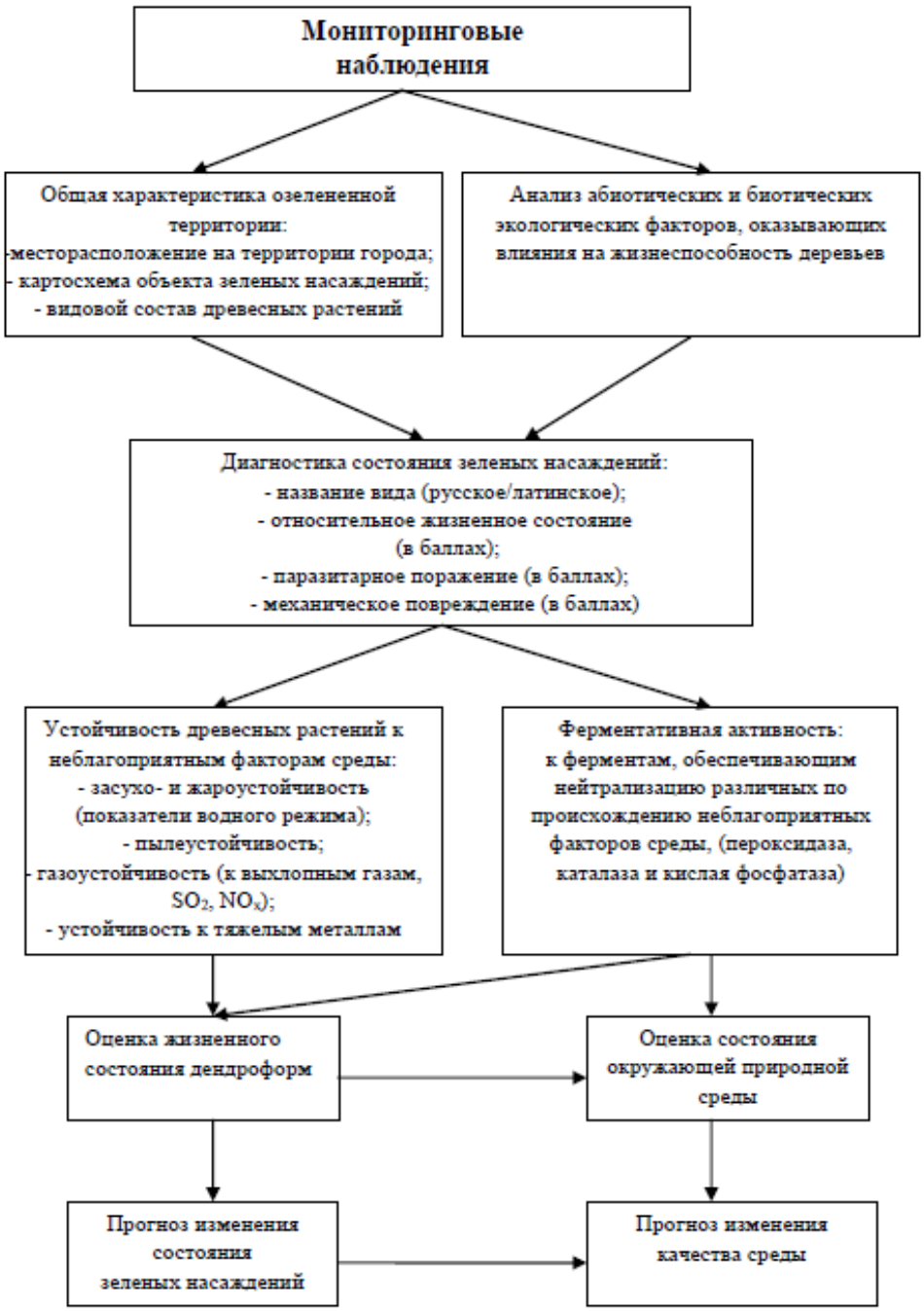


Рис. 1. Схема фитомониторинга зеленых насаждений

3-2 балла - листва мельче, светлее или желтее обычной, хвоя серая, желтоватая или желто-зеленая, часто преждевременно опадает или усыхает, возможна суховершинность, крона сильно изрежена, в кроне от 50 до 75 % и более сухих ветвей, прирост текущего года сильно уменьшен или отсутствует.

На стволе и ветвях часто имеются признаки заселения стволовыми вредителями (входные отверстия, насечки, сокотечение, буровая мука и опилки, насекомые на коре, под корой и в древесине), могут быть значительные механические повреждения;

1 балл - листва усохла, увяла или преждевременно опала, хвоя серая, желтая или бурая, крона усохла, но мелкие веточки и кора сохранились. На стволе, ветвях и корневых лапах часто признаки заселения стволовыми вредителями или их вылетные отверстия;

0 баллов - листва и хвоя осыпалась или сохранилась лишь частично, мелкие веточки и часть ветвей опали, кора разрушена или опала на большей части ствола. На стволе и ветвях имеются вылетные отверстия насекомых, под корой

- обильная буровая мука и грибница дереворазрушающих грибов.

В ходе фитомониторинга с целью анализа состояния окружающей природной среды методом биоиндикации особое внимание следует уделять состоянию именно древесных растений. С одной стороны это основные компоненты озеленения мегаполисов, а с другой стороны это наиболее удобные для использования тест- объекты.

Оценочная шкала для диагностики древесных насаждений

Для оценки рекомендуется принимать степень повреждения древесных пород.

6 баллов – повреждения древесных растений единичны или отсутствуют;

5 баллов – повреждения древесных растений занимают менее 10%;

4 балла - повреждения древесных растений занимают от 10 до 25%;

3 балла - повреждения древесных растений занимают от 26 до 50%;

2 балла - повреждения древесных растений занимают от 51 до 75 %;

1 балл - повреждения древесных растений занимают свыше 75%.

Оценка устойчивости к неблагоприятным факторам среды основана на свойстве древесных растений накапливать химические вещества, которые являются загрязнителями. Древесные растения являются аккумуляторами поллютантов. При этом определенные виды накапливают разные вещества, поэтому содержание загрязнителей в растениях можно использовать при биоиндикации и биотестировании.

Одним из наиболее удобных для оценки качества среды методов биоиндикации является метод определения биологической (ферментативной активности) растений [24]. Этот метод позволяет определить негативные последствия антропогенного воздействия. Применению ферментативной активности в качестве диагностического показателя способствует низкая ошибка опытов, простота определения; высокая чувствительность к внешним воздействиям.

Дестабилизация погодных условий, загрязнение атмосферы, общее ухудшение экологической обстановки привели к тому, что растения все в большей мере подвергаются прессингу широкого спектра стрессоров. Негативное влияние часто превышает порог их возможной адаптации. [5,6,7]. Используя данные по оценке устойчивости определённых древесных пород к неблагоприятным абиотическим факторам среды, можно сделать более качественные выводы о загрязнении среды.

На основе имеющихся данных и проведенных исследований может быть определен ряд наиболее перспективных направлений в области озеленения:

- ежегодная инвентаризация и создание единой базы данных существующих объектов озеленения с выделением наиболее проблемных территорий для проведения мероприятий по благоустройству и реконструкции;
- мониторинговые наблюдения за зелеными насаждениями общего пользования с целью оценки и прогноза их состояния;
- использование при создании и реконструкции зеленых насаждений устойчивых к неблагоприятным факторам городской среды видов древесных растений.

Таким образом, имея весь спектр данных по всем параметрам фитомониторинга, можно сделать вывод о состоянии окружающей природной среды, используя методы биоиндикации.

В дальнейшем планируется продолжить исследования.

Заключение

1. Предлагаемая система фитомониторинга позволяет оценить состояние зеленых насаждений.
2. Используя полученные оценочные данные по всем параметрам фитомониторинга, можно сделать вывод о состоянии среды, используя методы биоиндикации и биотестирования.
3. Массив данных камеральных и полевых исследований позволяет провести прогнозирование развитие экологической ситуации при различных степенях антропогенной нагрузки на урбаносреду.
4. Полученные базы данных позволяют выявить газоустойчивые и газочувствительные дендроформы.
5. При проведении фитомелиорацию урбаносреды города Севастополя рекомендуется использовать газоустойчивые дендроформы, такие как: все разновидности Софо́ры (*Sophóra*), Робúния ложноака́циевая, или робиния лжеака́ция, (*Robínia pseudoacácia*), Ака́ция серебри́стая, или Акация подбелённая (*Acācia dealbāta*), То́поль чёрный (*Pópulus nígra*), Кипари́с

(*Cupréssus*) Ту́я за́падная, или жи́зненное де́рево, (*Thúja occidentális*). Полученные в ходе исследований [1,2,3,4] позволяют использовать данные деревья при озеленении г. Севастополя.

Список литературы

1. 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
2. Климова Ю.Ю., Косовская М.А., Хренова Т.К. Анализ проблемы техногенного аэрозагрязнения Севастополя В сборнике: Сохранение биологического разнообразия – основа устойчивого развития. Материалы Всероссийской заочной научно-практической конференции с международным участием. 2016. С. 170-178
3. 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.
4. 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.
5. Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации – М.: МГУЛ, 1999. – 193 с.
6. Николаевский В.С. Биологические основы газоустойчивости растений. - Новосибирск, Наука, 1979. - 280 с.
7. Бухарина И.Л. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде: монография / Бухарина И.Л., Поварницкая Т.М., Ведерников К.Е. – Ижевск: ФГОУ ФПО Ижевская ГСХА, 2007. – 216 с.
8. Зеленые насаждения как средство улучшения экологии города. Соловьева О.С. и др. 2010. – Научная электронная библиотека КиберЛенинка. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/
9. Горохов В.А. Городское зеленое строительство. Стройиздат. Москва, 1991. – 416
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. Чернышенко О.В. Поглотительная способность и газоустойчивость древесных растений в условиях города. – М.: Изд-во МГУЛ, 2002. – 120 с.
13. Селье Г. Стресс без дистресса / Г. Селье. – М: Прогресс, 1979. – 123 с.
14. Якушкина Н.И, Бахтенко Е.Ю. Физиология растений / Электронная библиотека. 2010. URL: http://fizrast.ru/osnovy–ustoychivosti/stress.html (дата обращения: 20.04.2020).
15. Asada K. The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons // Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. – 1999. – V. 50. – P. 601-639.
16. Yamane Y., Kashino Y., Koike H., Satoh K. Effect of high temperatures on the photosynthetic systems in spinach: Oxygen-evolution activity, fluorescence characteristics and the denaturation process // Photosynthesis Research. – 1998. – V. 57. – P. 51-59.
17. Meneguzzo S., Navari-Izzo F., Izzo R. Antioxidative responses of shoots and roots of wheat to increasing NaCl concentrations // J. Plant. Physiol. – 1999. – V. 155. – P. 274-280.
18. Blee K.A., Jupe S.C., Richard G. Molecular identification and expression of the peroxidase responsible for the oxidative burst in French bean (Phaseolus vulgaris L.) and related members // Plant Mol. Biol. – 2001. – V. 47. – P. 607-620.
19. Fang W.-C., Kao C. H. Enhanced peroxidase activity in rice leaves in response to excess iron, copper, and zinc // Plant Science. – 2000. – V. 158. – P. 71-76.
20. Тарчевский И.А. Сигнальные системы клеток растений. М.: Наука, 2002. – 294 с.
21. Ogawa K., Kanematsu S., Asada K. Intra and extracellular localization of "cytosolic" CuZn-superoxide dismutase in spinach leaf and hypocotyls // Plant Cell Physiol. – 1996. – V. 37. – P. 790-799.
22. Kuzniak E., Sklodowska M. The effect of Botrytis cinerea infection on the antioxidant profile of mitochondria from tomato leaves // J. Exp. Bot. – 2004. – V. 55. – P. 605-612.
23. Corpas F.J., Barroso J. B., del Rio L. A. Peroxisomes as a source of reactive oxygen species and nitric oxide signal molecules in plant cells // Trends in Plant Science. – 2001. – V. 6 (4). – P. 145-150.
24. Гарифзянов А.Р., Горелова С.В., Иванищев В.В., Музафаров Е.Н. Сравнительный анализ активности компонентов антиоксидантной системы древесных растений в условиях техногенного стресса // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. – 2009. – С. 45-48.
25. Неверова О.А. Биоэкологическая оценка загрязнения атмосферного воздуха по состоянию древесных растений – Новосибирск: Наука, 2001. –

119.
26. Кустикова А.А. / Оценка качественного состояния атмосферного воздуха методом биоиндикации / Кустикова А.А., Ахмедова Н.Р. 2015. – Научная электронная библиотека КиберЛенинка. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/

References

1. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Khrenova T.K., Kashirina E.S. Assessment of the state of atmospheric air in the main areas of Sevastopol Power plants and technologies. 2020.Vol. 6.No. 1.P. 159-164
2. Klimova Yu.Yu., Kosovskaya M.A., Khrenova T.K. Analysis of the problem of technogenic aerosolization of Sevastopol In the collection: Conservation of biological diversity - the basis of sustainable development. Materials of the All-Russian correspondence scientific and practical conference with international participation. 2016.P. 170-178
3. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Aleksandrova S.S., Shinkorenko A.A., Yakimenko E.Yu. Analysis of the state of atmospheric air of the main highways 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.P. 834-839.
4. 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 areas in conditions of road traffic pollution In the collection: Marine research and rational nature management. Materials of the youth scientific conference. 2018.P. 295-297.
5. Nikolaevsky B.C. Environmental assessment of environmental pollution and the state of terrestrial ecosystems by phytoindication methods - Moscow: MGUL, 1999. - 193 p.
6. Nikolaevsky V.S. Biological bases of plant gas resistance. - Novosibirsk, Nauka, 1979 .- 280 p.
7. Bukharina I.L. Ecological and biological characteristics of woody plants in an urbanized environment: monograph / Bukharina I.L., Povarnitskaya T.M., Vedernikov K.E. - Izhevsk: FGOU FPO Izhevsk State Agricultural Academy, 2007 .- 216 p.
8. Green spaces as a means of improving the ecology of the city. O.S. Solovieva et al. 2010. - Cyber-Leninka Scientific Electronic Library. - Access mode: https://cyberleninka.ru/
9. Gorokhov V.A. Urban green building. Stroyizdat. Moscow, 1991 .- 416
10. Alekseev V.A. Diagnostics of the vital state of trees and forest stands // Lesovedenie. 1989. No. 4. P. 51–57.
11. Alekseev V.A. Diagnostics of damage trees and forest stands during atmospheric pollution and assessment of their life state // Forest ecosystems and atmospheric pollution. L .: Nauka, 1990. S. 38–53.
12. Chernyshenko O.V. Absorption capacity and gas resistance of woody plants in urban conditions. - M .: Publishing house MGUL, 2002 .-- 120 p.
13. Selye G. Stress without distress / G. Selye. - M: Progress, 1979.- 123 p.
14. Yakushkina N.I., Bakhtenko E.Yu. Plant Physiology / Electronic Library.
15. Asada K. The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons // Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. - 1999. - V. 50. - P. 601-639.
16. Yamane Y., Kashino Y., Koike H., Satoh K. Effect of high temperatures on the photosynthetic systems in spinach: Oxygen-evolution activity, fluorescence characteristics and the denaturation process // Photosynthesis Research. - 1998. - V. 57. - P. 51-59.
17. Meneguzzo S., Navari-Izzo F., Izzo R. Antioxidative responses of shoots and roots of wheat to increasing NaCl concentrations // J. Plant. Physiol. - 1999. - V. 155. - P. 274-280.
18. Blee K.A., Jupe S.C., Richard G. Molecular identification and expression of the peroxidase responsible for the oxidative burst in French bean (Phaseolus vulgaris L.) and related members // Plant Mol. Biol. - 2001. - V. 47. - P. 607-620.
19. Fang W.-C., Kao S. N. Enhanced peroxidase activity in rice leaves in response to excess iron, copper, and zinc // Plant Science. - 2000. - V. 158. - P. 71-76.
20. Tarchevsky I.A. Plant cell signaling systems. Moscow: Nauka, 2002 .-- 294 p.
21. Ogawa K., Kanematsu S., Asada K. Intra and extracellular localization of "cytosolic" CuZn-superoxide dismutase in spinach leaf and hypocotyls // Plant Cell Physiol. - 1996. - V. 37. - P. 790-799.
22. Kuzniak E., Sklodowska M. The effect of Botrytis cinerea infection on the antioxidant profile of mitochondria from tomato leaves // J. Exp. Bot. - 2004. - V. 55. - P. 605-612.
23. Corpas F.J., Barroso J. B., del Rio L. A. Peroxisomes as a source of reactive oxygen species and nitric oxide signal molecules in plant cells // Trends in Plant Science. - 2001. - V. 6 (4). - P. 145-150.
24. Garifzyanov A.R., Gorelova S.V., Ivanishchev V.V., Muzafarov E.N. Comparative analysis of the activity of the components of the antioxidant system of woody plants under conditions of technogenic stress // Bulletin of the Tula State University. Natural Sciences. - 2009 .- S. 45-48.
25. Neverova O.A. Bioecological assessment of atmospheric air pollution by the state of woody plants - Novosibirsk: Science, 2001. - 119.
26. Kustikova A.A. / Assessment of the qualitative state of atmospheric air by the bioindication method / Kustikova A.A., Akhmedova N.R. 2015. - Scientific electronic library CyberLeninka. - Access mode: https://cyberleninka.ru/

УДК 502.3:669.18

Переработка железосодержащих отходов методом микробиологической деструкции с целью получения железоокисного пигмента

К.А. Кулик[1], Баранов Г.А[2], Дербасова Н.М.[3], Гавриш О.П.[4]
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33, г. Севастополь, 299053, Россия. greenpeacekarina@mail.ru[1]

Статья поступила 21.01.2021 г.; после доработки 25.01.2021 г.

Аннотация

Приведены исследования по использованию метода микробиологической деструкции культурой тионовых железоокисляющих бактерий для переработки железосодержащих отходов: черный металлический лом различных марок стали. В ходе переработки железосодержащих отходов получены железоокисные пигменты различных оттенков. Для увеличения экономической эффективности и снижения воздействий на окружающую среду предлагается регенерация отработанных биорастворов с целью их повторного использования.

Ключевые слова: микробиологическая деструкция, железоокисный пигмент, тионовые бактерии, железосодержащие отходы.

Processing of iron-containing waste by the method of microbiological destruction in order to obtain iron oxide pigment

K.A. Kulik[1], Baranov G.A[2], Derbisova N.M.[3], Gavrish O.P[4].
Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st,, Sevastopol, 299053, Russia, greenpeacekarina@mail.ru[1]

Received 21.01.2021 y.; received in final form25.01.2021 y.

Abstract

Studies on the use of the method of microbiological destruction by culture of thioniciron-oxidizing bacteria for the processing of iron-containing waste: black metal scrap are presented. During the processing of iron-containing waste, iron-oxide pigments of various shades were obtained. To increase economic efficiency and reduce environmental impacts, it is proposed to regenerate waste bio-solutions for their reuse.

Key words: microbiological degradation, iron oxide pigment, thion bacteria, iron-containing waste.

Введение

Направлением исследуемой технологии микробиологической деструкции и биокоррозии металлических отходов, является совершенствование методов получения железоокисных пигментов путем бактериального окисления железосодержащих отходов.

Традиционные промышленные методы получения неорганических пигментов, сопровождаются образованием вторичных отходов, обладают сложной технологической схемой и не соответствуют требованиям ресурсосбережения [1].

Исследуемая технология микробиологической деструкции относится к перспективным направлениям в области переработки металлсодержащих отходов производства и потребления. Использование бактериального окисления является простым, экологически безопасным и экономически эффективным способом. Представленный способ переработки предназначен для утилизации металлических (железосодержащих) бытовых и промышленных отходов, транспортировка которых на металлургические заводы не

целесообразна, с целью получения железоокисных пигментов используемых в широком диапазоне [2;3].

Цели и задачи исследования

Целью работы является разработка способа переработки железособержащих отходов основанного на использовании ферментативной деятельности бактериальной культуры Thiobacillus ferrooxidans, с получением на конечном этапе железоокисного пигмента. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи: разработать методику извлечения железа, провести эксперимент по биологическому выщелачиванию железа, оценить экономическую эффективность используемой методики.

Методология

В качестве образцов для исследований использовался лом черного металла различных марок стали : Ст-3, Ст-40, Ст-20, Ст-10, Ст-35 .

В качестве бактериальной культуры использовалась ассоциация микроорганизмов сульфидредуцирующих бактерий Thiobacillus ferrooxidans выделенная на питательной среде Маннинга [4].

Основная часть

При проведении исследования использовалась экспериментальная установка, представляющая собой биореактор. Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1.

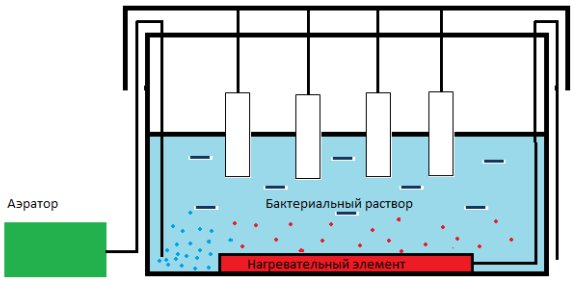


Рис. 1. Схема биореактора.
Элементы схемы: 1. Корпус биореактора; 2. Металлический лом; 3. Нагревательный элемент с регулировкой температуры; 4. Аэратор; 5. Бактериальный раствор.

Металлический лом помещался в биореактор, где одновременно происходило бактериальное выщелачивание металлов, химическое окисление ионами Fe^{3+} (полученного в результате жизнедеятельности микроорганизмов) с сопутствующими реакциями электрохимического растворения металлов.

Для решения поставленных целей, при проведении экспериментов по микробиологической деструкции была разработана рабочая схема, представленная на рисунке 2.

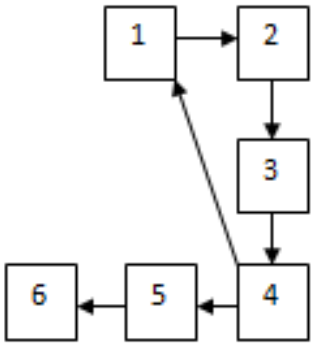


Рис. 2 Стадии процесса микробиологической деструкции металлического лома.
1.Приготовление рабочего раствора, наработка биомассы Thiobacillus ferrooxidans. 2. Биологическое выщелачивание в реакторе. 3. Осаждение осадка. 4. Промывка осадка. 5. Сушка и измельчение пигмента. 6. Прокаливание пигмента.

Элементный состав, марка и классификация использующегося в исследовании металлического лома представлены в таблице 1 [5].

Исследования по описной выше схеме происходил следующим образом:

1. Для приготовления 1л. рабочего раствора потребовалось: к 50 гр $FeSO_4$ добавить 0,7мл H_2SO_4 (5%), прилить дистиллированную воду 500 мл. Реакцию можно описать следующим уравнением 1:

$$FeSO_4 + H_2SO_4 = Fe_2(SO_4)_3 + SO_2 + H_2O \qquad (1)$$

Приготовленный раствор помещали в биореактор, и приливали к нему биораствор с культура Thiobacillus ferrooxidans 450мл.

2. Через 24 часа в полученный биораствор помещался предварительно взвешенный металлический лом. В биореакторе поддерживались условия: pH=1.7-1.8, T=27 ^{0}C, аэрация раствора. Процесс можно описать реакцией 2:

$$Fe^{2+} + O_2 + H + 4e^- \xrightarrow{\text{бактерии}} Fe^{3+} + H_2O \qquad (2)$$

По истечению 72 часов образовавшаяся в

реакторе смесь сливалась в осадительную емкость для разделения раствора и осадка $Fe(OH)_2$.

Таблица 1. *Элементный состав, марка, классификация металлического лома*.

Марка стали	Состав	Концентрация (%)	Класс стали
Ст-3	Fe C Si Mn Ni Др.	97 22 0.17 0.65 0.3 0.69	конструкционная углеродистая обыкновенного качества
Ст-10	Fe C Si Mn Ni Др.	98 0.14 0.37 0.65 0.25 0.47	конструкционная углеродистая качественная
Ст-20	Fe C Si Mn Ni Др.	98 0.24 0.37 0.65 0.25 0.58	конструкционная углеродистая качественная
Ст-35	Fe C Si Mn Ni Др.	97 0.4 0.37 0.8 0.25 0.57	конструкционная углеродистая качественная
Ст-40	Fe C Si Mn Ni Др.	97 0.45 0.37 0.8 0.25 0.61	конструкционная углеродистая качественная

3. Суммарную реакцию образования железоксидного пигмента можно описать уравнением 3:

$$Fe + O_2 + H_2O \rightarrow FeO(OH) \qquad (3)$$

4. Полученный осадок промывали водой до значения pH=5-6. Оставшаяся осветленная часть раствора возвращается в емкость для приготовления рабочего раствора где осуществляется её рециклинг и повторное использование ее в биореакторе.

5. Чистый осадок высушивался в термошкафу, время сушки 1 час, T= 85 ^{0}C. После сушки осадок дробили. Высушенный и измельченный пигмент имел желтый оттенок.

6. Для получения различных оттенков пигмента использовали различные температурные режимы [6]: рыжий цвет - осадок прокаливали при T=400 ^{0}C, время прокалки - 2 часа; красный цвет - осадок прокаливали при T=600 ^{0}C, время прокалки 2 часа; пурпурный цвет осадок прокаливали при T=850 ^{0}C, время прокалки 2 часа; охра, осадок прокаливали при T= 120 ^{0}C, время прокалки 2 часа. Реакция дегидратации пигмента, с последующим изменением описывается уравнением 4:

$$FeO(OH) + O_2 \rightarrow Fe_2O_3 + H_2O \qquad (4)$$

Оценка эффективности микробио-логической деструкции осуществлялась путем измерения уменьшения массы экспериментальных образцов. Результаты измерений представлены в таблице 2.

Таблица 2. *Уменьшение массы исследуемых образцов, в %.*

Марка	Ст-10	Ст-3	Ст-20	Ст-35	Ст-40
Масса	8,3%	35,45%	33,6%	70%	36,4%

Степень извлечения железа из металлического лома в среднем составила 36.7%. Интенсификация процесса выделения железа возможна при уменьшении размеров фракций используемого сырья, это позволит увеличить площадь соприкосновения металлического лома с биологическим раствором. Так же для улучшения показателей извлечения железа возможно проводить процесс микробиологической деструкции многостадийно.

В ходе проведения экспериментов были получены порошки железоокисных пигментов различных оттенков. Внешний вид полученных образцов представлен на рисунке 3.

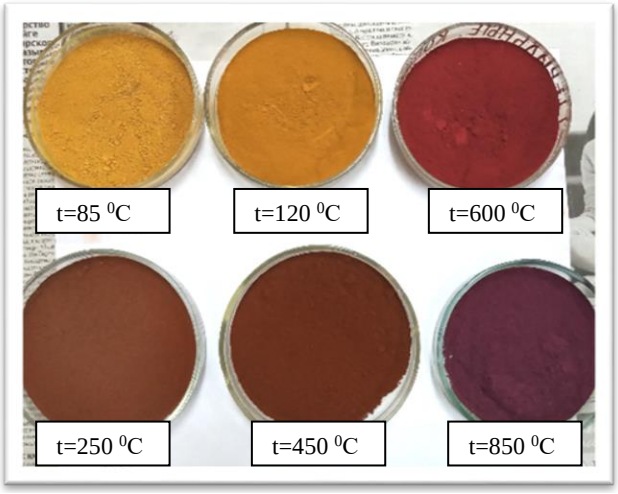


Рис. 3. Железоокисные пигменты полученные методом микробиологической деструкции.

По предварительным технико-экономическим расчетам с учетом рециклинга биораствора

показали, что основными затратами при получении пигментов являются: затраты на электроэнергию; затраты на реактивы для регулирования pH раствора; затраты на субстрат; иные затраты связанные с технологическим процессом.

В среднем затраты при получении 1 кг железоокисного пигмента желтого цвета в лабораторных условиях составляют до 90 руб. В сравнение, приведены цены на железоокисные пигменты в таблице 3.

Таблица 3. *Цена желтого железоокисного пигмента марки Ж-1.*

Марка	Цена, руб/кг	Источник
Ж-1	350	https://ekb.pulscen.ru/products/pigment_zhelezooxidny_1_0_kg_zhelty_313_chelyabinsk_154473193
	340	https://www.sdvor.com/tmn/product/pigment-zhelezookisnyj-zheltyj-1kg-213200/
	266	https://petrostm.ru/pigmenty-dlya-betona/pigment-omnicon-ye-6420a-zheltyy-1-5kg.html

Очевидно, что пигменты получаемые методом микробиологической деструкции с оборотным циклом рабочего раствора из железосодержащих отходов, является более рентабельным и в 2-3 раза дешевле представленных на рынке аналогов.

В качестве ближайшего аналога для сравнения цен, был взят желтый железоокисный пигмент марки Ж-1 по ГОСТу 18172-80.

Заключение

По результатам исследования предложенная схема микробиологической деструкции железосодержащих отходов является эффективным и экономичным методом получения порошков железоокисного пигмента.

Реализация технологии возможна без использования сложного и дорогостоящего оборудования. Также преимуществом методики является замкнутость технологического процесса, что уменьшает расходы и снижает воздействие на окружающую среду.

В результате проведенных исследований была предложена технологическая схема по извлечению железа из железосодержащих отходов. Метод микробиологической деструкции показал себя эффективным.

Степень извлечения железа на первом цикле выщелачивания в среднем составил 36.7%.

Полученным продуктом является порошок железоокисных пигментов различных оттенков. Пигменты могут использоваться для эмалей и красок на основе любых пленкообразователей предназначенных для получения покрытий, эксплуатируемых как внутри помещений, так и в атмосферных условиях. Пигменты используются для окрашивания резины, пластмасс, древесностружечных материалов.

Результаты проведенных исследований дополняют информацию по микробиологической деструкции стальных изделий и будут полезны для решения проблем выбора материалов в биотехнологиях, а также оценки экологических ситуаций в металлических конструкциях.

Список литературы

1. Кузякина Т.И. Биотехнология извлечения металлов из сульфидных руд / Т.И. Кузякина, Т.С. Хайнасова, О.О. Левенец // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле.– Петропавловск–Камчатский, 2008. – Вып. 12. – № 2. – С. 76–86.
2. Чайка Т.В. Переработка твердосплавных изделий методом биологического выщелачивания / Т.В. Чайка, Н.М. Дербасова // Зб. наук. пр. СНУЯЕтаП. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2012. – Вып. 4 (44). – С.194 – 200.
3. Хайнасова Т. С. Кинетические модели окисления двухвалентного железа ацидофильными хемолитотрофными микроорганизмами // Горный информационно аналитический бюллетень. – 2019. – № 12. – С. 191–204.
4. Соколова Т.С. Влияние тионовых бактерий на коррозию стали / Т.С. Соколова, В.Д. Коновалова // Вестник Пермского национального исследо-вательского политехнического универ-ситета. Серия «Химическая технология и биотехнология», 2017, № 2. С. 7–18.
5. Ю.Г. Драгунов Марочник сталей и сплавов. 4-е изд., / Ю.Г. Драгунов, А.С. Зубченко, Ю.В. Каширский Дегтярев А.Ф., Жаров В.В., Колосков М.М., Орлов А.С., Скоробогатых В.Н – М.: 2014.-С.56;195.
6. Мартинкевич А. А. Пигменты для современных лакокрасочных материалов / А. А. Мартинкевич, Н. Р. Прокопчук. – Минск : БГТУ, 2014, С.81-83.

References

1. Kuzyakina T.I. Biotechnology of metal extraction from sulfide ores / T.I. Kuzyakina, T.S. Khaynasova, O.O. Levenets // Bulletin of KRAUNC. Geosciences. - Petropavlovsk-Kamchatsky, 2008. - Vol. 12. - No. 2. - P. 76–86.
2. Chaika T.V. Processing of hard alloy products by biological leaching / T.V. Chaika, N.M. Derbasova // Zb. sciences. ave. SNUYAETAP. - Sevastopol:

SNUYaEiP, 2012. - Issue. 4 (44). - p. 194 - 200.
3. Khaynasova TS Kinetic models of ferrous iron oxidation by acidophilic chemolithotrophic microorganisms // Mining information and analytical bulletin. - 2019. - No. 12. - P. 191–204.
4. Sokolova T.S. Influence of thionic bacteria on steel corrosion / T.S. Sokolov, V.D. Konovalova // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Series "Chemical technology and biotechnology", 2017, No. 2. P. 7–18.
5. Yu.G. Dragunov Steels and alloys manufacturer. 4th ed., / Yu.G. Dragunov, A.S. Zubchenko, Yu.V. Kashirsky Degtyarev A.F., Zharov V.V., Koloskov M.M., Orlov A.S., Skorobogatykh V.N. - M .: 2014.-P.56; 195.
6. Martinkevich AA Pigments for modern paints and varnishes / AA Martinkevich, NR Prokopchuk. - Minsk: BSTU, 2014, pp. 81-83.

УДК 330.36

Природные предпосылки и ограничения формирования агропромышленного кластера в г. Севастополе

И.С. Кусов[1], Е.С. Каширина[1,2], Н.В. Лямина[1], М.А. Зуев-Носов[1], Н.В. Шабалина[1,3]
[1]*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33, г. Севастополь, 299053, Россия*
[2]*Филиал МГУ в г. Севастополе, ул. Героев Севастополе, 7, г. Севастополь, 299001, РФ*
[3] *Московский государственный университет, Ленинские горы, 1, г. Москва, 119234, РФ*
[1] *ISKusov@sevsu.ru, BurmistrovaN@mail.ru, MAZuyev-Nosov@sevsu.ru,* [2]*e_katerina.05@mail.ru,* [3]*natshab@yandex.ru*

Статья поступила 25.02.2021 г.; после доработки 26.02.2021 г.

Аннотация

В работе рассмотрены природные предпосылки и ограничения формирования агропромышленного кластера в г. Севастополе. В структуре агропромышленного кластера приоритетным направлением развития сельского хозяйства Севастополя является растениеводство. Риски для виноградарства и плодоводства создают такие неблагоприятные гидрометеорологические явления, как заморозки, сильные ветры, обильные осадки, град, туман. Доказано, что максимальную эффективность для включения в производственные цепочки показывают виноградарство и садоводство.

Ключевые слова: виноградарство, виноделие, садоводство, агропромышленный кластер, природно-климатические условия, Севастополь, Крымский полуостров.

Natural prerequisites and limitations of the formation of an agro-industrial cluster in Sevastopol

I.S. Kusov[1], E.S. Kashirina[1,2], N.V. Lyamina[1], M.A. Zuev-Nosov[1], N.V. Shabalina[1,3]
[1]*Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st,, Sevastopol, 299053, Russia*
[2]*Sevastopol branch of Lomonosov Moscow State University, 7, Geroev Sevastopolya st., Sevastopol, 299001, RF,*
[3]*Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskie gory, 119234, RF*
[1] *ISKusov@sevsu.ru, BurmistrovaN@mail.ru, mazuyev-nosov@sevsu.ru,* [2]*e_katerina.05@mail.ru,* [3]*natshab@yandex.ru*

Received 25.02.2021 y.; received in final form 26.02.2021 y.

Abstract

The paper considers the natural prerequisites and limitations of an agro-industrial cluster formation in the Sevastopol. In Sevastopol in the structure of the agro-industrial cluster, the priority direction of the agriculture development is crop production. Risks for viticulture and fruit growing are created by such unfavorable hydrometeorological phenomena as frost, strong winds, heavy rainfall, hail, fog. It has been proven that viticulture and horticulture show the highest efficiency for inclusion in production chains.

Keywords: viticulture, winemaking, horticulture, agro-industrial cluster, natural and climatic conditions, Sevastopol, the Crimean peninsula.

Введение

Территориальный подход к развитию отраслей хозяйства позволил выработать эффективные управленческие модели, среди которых важное место принадлежит кластерному развитию. Кластерные структуры появились во многих отраслях промышленности.

По данным «Ассоциации кластеров и тех-

нопарков России» в реестр промышленных кластеров Минпромторга включено 78 промышленных кластеров в 44 регионах страны [1]. В последние годы активно развиваются такие пространственные структуры в сельском хозяйстве [2, 3]. Агропромышленный кластер представляет собой территориально сближенную совокупность предприятий агропромышленного комплекса (АПК), объединенных различными типами связей, которые формируют конкурентные преимущества и снижают транзакционные издержки. Как правило, кластеры создаются на ограниченных территориях в отдельных субъектах, что повышает эффективность управления ими.

Стратегия пространственного развития РФ на период до 2025 г. определяет тренд концентрации производства сельскохозяйственной продукции на территориях с наиболее благоприятными агроклиматическими и почвенными условиями и выгодным положением относительно ёмких потребительских рынков. Севастополь отличается благоприятными природно-климатическими условиями для ведения сельского хозяйства, расположен в густонаселённом районе, что обеспечивает рынки сбыта. Земельный фонд Севастополя на 1 января 2019 г. представлен 86,4 тыс. га территории, относящейся к категории «земли населенных пунктов». Выделен Севастопольский кадастровый округ. Согласно распределению земель Российской Федерации по угодьям в разрезе субъектов на 1 января 2019 г. площадь сельскохозяйственных угодий в городе Севастополе составляет 26,5 тыс. га или 30,3% территории субъекта [4].

На региональном уровне принятая Стратегия социально-экономического развития города Севастополя до 2030 года определила векторы развития агропромышленного комплекса его на территории, которыми стали развитие сельского хозяйства и виноделия [5]. В настоящее время кластерный подход к развитию агропромышленного комплекса Севастополя направлен на создание конкурентоспособных отраслей, увеличению добавленной стоимости продукции, снижению издержек.

Постановка цели научного исследования

Региональная специализация сельского хозяйства определяется совокупностью факторов, ведущими из которых являются природно-климатические. Первоочередное значение для сельскохозяйственного освоения территории имеет комплекс климатических и почвенных условий, а также рельеф местности, определяющие природные предпосылки развития агропроизводства. Отсюда цель исследования – оценить природные предпосылки и ограничения формирования агропромышленного кластера в г. Севастополе.

Описание исследования

В качестве источников информации о почвенных и климатических условиях Севастополя использованы картографические материалы: Атлас Крыма, Климатический атлас Крыма, Почвенная карта УССР [6, 7, 8] и др. Картографические данные дополнены информацией, полученной из литературных источников. Анализ опасных метеорологических явлений проведен на основе официальной статистики Министерства по чрезвычайным ситуациям [9].

В структуре сельскохозяйственных угодий Севастополя преобладает пашня (рис. 1).



Рис. 1. Структура сельскохозяйственных угодий Севастополя, 01.01.2019г. [10]

Почти половина сельскохозяйственных угодий Севастополя представлены пашней - 11,6 тыс. га или 45% площади. Многолетние насаждения составляют 9,9 тыс. га, они представлены, в основном, садами и виноградниками. На кормовые угодья (пастбища и сенокосы) приходится 4,7 тыс. га. При этом, общая площадь многолетних насаждений, занятых плодами и ягодами, включая виноград, составляет 7137 га, т.е. более 2700 га не вовлечены в хозяйственный оборот. Часть этих угодий сельскохозяйственного назначения характеризуется

зарастанием сорной и древесной растительностью, старые непродуктивные сады подлежат раскорчевке.

Среди многолетних насаждений преобладают виноградники, на которые приходится 5806 га. Плоды и ягоды выращивают на 1331 га территории города. Это, главным образом, персиковые, грушевые, яблоневые сады.

Общая посевная площадь по состоянию на 2020 г. составляет 1292,5 га, которые используются под выращивание зерновых и зернобобовых, картофеля и овощебахчевых, а также кормовых культур (рис. 1).



Рис. 2. Структура посевных площадей основных сельскохозяйственных культур под урожай 2020 года [10]

Максимальная доля в структуре посевных площадей отмечается для зерновых и зернобобовых культур (включая кукурузу), на которые приходится 381,9 га, что составляет 33% всех посевных площадей. Картофель и овощебахчевые культуры занимают 450,7 га. Кормовые культуры занимают 319,8 га или 28% площади посевных культур Севастополя. Меньшая площадь приходится на овощи - 292,6 га или 26%. Картофель выращивают на 154,1 га городской территории, что составляет 13% площади посевных культур.

Из анализа структуры сельскохозяйственных угодий видно, что основная специализация региона – растениеводство. Необходимо отметить диверсификацию растениеводства в Севастополе.

По данным о состоянии мелиорированных земель по субъектам Российской Федерации на 1 января 2019 г. в городе Севастополе к орошаемым землям относится 4200 га угодий, которые характеризуются разным состоянием (рис. 3).

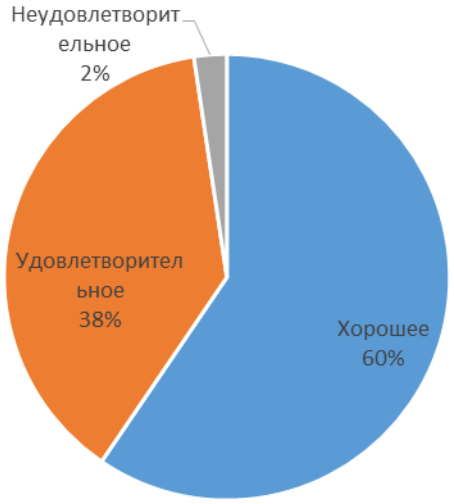


Рис. 3. Состояние мелиорированных земель Севастополя, 01.01.2019г. [10]

Большая часть мелиоративных земель находится в хорошем состоянии – 2500 га, что составляет 60% от всей площади орошаемых земель. В удовлетворительном состоянии находятся 1600 тыс. га орошаемых земель, что составляет 38% их площади. Небольшая доля (2%) орошаемых земель находится в неудовлетворительном состоянии.

Набор выращиваемых сельскохозяйственных культур практически полностью определяется природными условиями. Агроклиматические условия выступают природным базисом для развития тех или иных отраслей сельского хозяйства. Согласно схеме агроклиматического районирования В.И. Важова территория Севастополя относится к пяти районам (рис. 1). Границы между районами проведены по показателям годовой увлажненности и уточняются особенностями геоморфологического строения поверхности, распределению почвенного покрова и естественной растительности.

Как видно, территория Севастополя входит в несколько агроклиматических районов:

2. Западный степной, причерноморский;
7. Западный (Гераклейский) предгорный;
8. Юго-западный предгорный;
10. Байдарский низкогорный;
14. Западный яйлинский;
18. Западный южнобережный.

Высокое разнообразие агроклиматических природных условий территории города определяет возможность развития многих отраслей

сельского хозяйства.

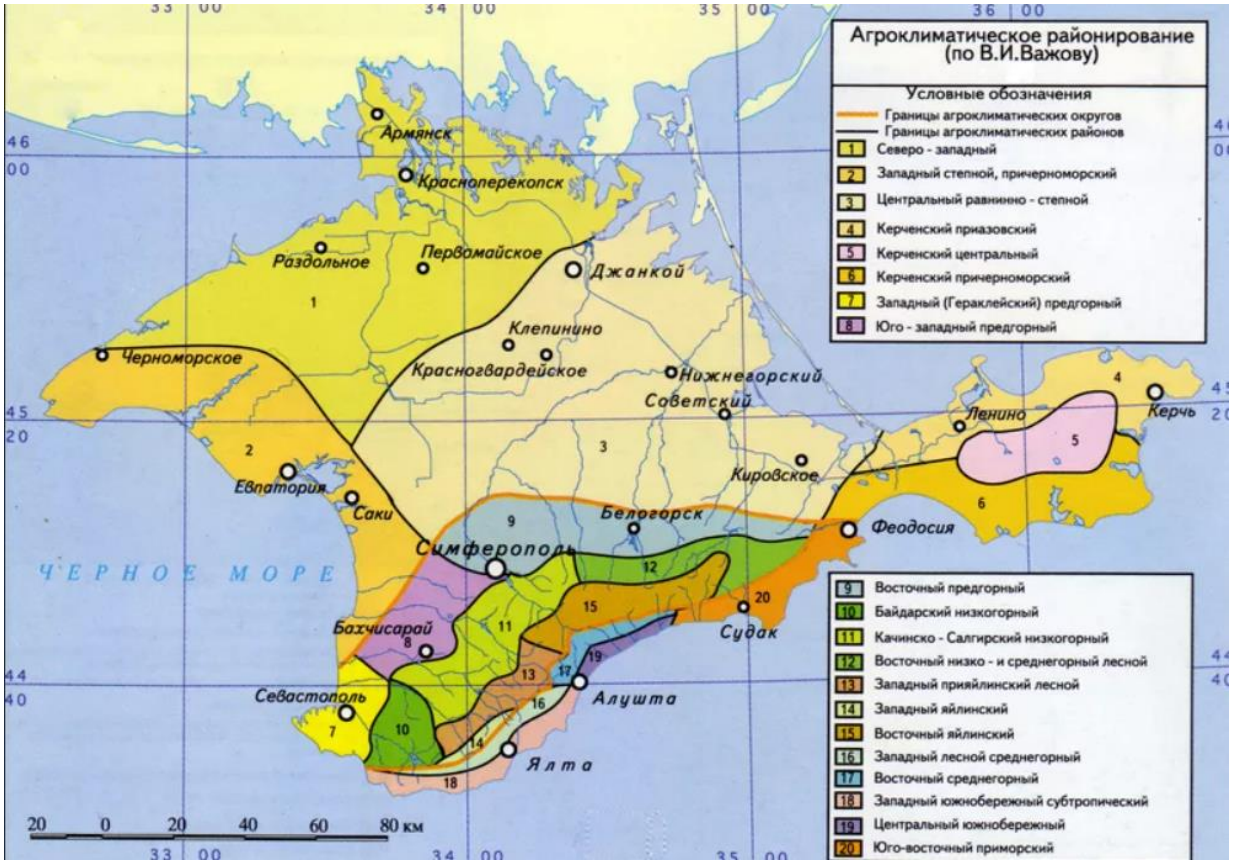


Рис. 4. Схема агроклиматического районирования Крыма В.И. Важова [11]

Для южнобережного района характерны наиболее высокие суммы температур в период с температурой выше +10°С (активных температур) составляет 3400-3800°С, средние из абсолютных минимумов температуры составляют -10-15°С. В степных приморских районах города сумма активных температур достигает 3300-3500°С при средних абсолютных минимумах -20-23°С. В предгорье при снижении суммы активных температур до 3100-3300°С уменьшается и средний абсолютный минимум до -10-15°С.

Важнейшими лимитирующими климатическими факторами для развития в регионе плодоводства являются морозоопасность и низкая влагообеспеченность территории. Плодовые культуры зачастую не переносят заморозков: персик – ниже -22°С, абрикос – ниже -21-22°С, алыча – ниже -23-24°С, черешня, слива, яблоня, груша – ниже -27-28°С.

Почвенный покров Севастополя разнообразен, что определяется рельефом и микроклиматом. На Предгорьях представлены предгорные черноземы и коричневые почвы, на Главной гряде - бурые горные лесные, дерново-карбонатные, горно-степные и горно-луговые черноземовидные типы почв, на Южнобережье – коричневые.

Для коричневых почв характерно оглинение средней части профиля, обусловленное процессами внутрипочвенного выветривания, повышенная скелетность, мощность гумусово-аккумулятивного горизонта составляет 25-30 см, содержание гумуса от 2,5 до 5 %.

Дерново-карбонатные почвы отличаются избыточной карбонатностью, которая проявляется по всему профилю, незначительным содержанием гумуса от 2 до 4,7%. Почвообразующей породой служат продукты выветривания известняков, мергелей, сланцев, песчаников, конгломератов и других пород.

Мощность бурых горных лесных почв достигает 60–80 см, содержание гумуса в верхнем горизонте достигает 7–12%. При залегании грунтовых вод на глубине 2–7 м формируются полугидроморфные почвы – лугово-коричневые. Они приурочены к днищам балок и к первой надпойменной террасе рек. Они отличаются большей мощностью и гумусированностью,

пленочно-капиллярным увлажнением нижней части почвенного профиля и дополнительным увлажнением сверху за счет перераспределения поверхностных вод.

Черноземовидные почвы формируются под луговой растительностью в долинах рек и на побережьях, в условиях близкого (до 3 м) залегания пресных или слабоминеральных почвенно-грунтовых вод. Мощность гумусового горизонта достигает 30–50 см. Выделены карбонатные, солонцеватые и солончаковые роды этих почв.

Аллювиальные почвы отличаются повышенной биогенностью, сравнительной молодостью, что отражается в слабой дифференциации профиля на генетические горизонты и слабом развитии гумусового горизонта.

Все почвы города отличаются повышенной щебнистостью, тяжелым механическим составом, карбонатностью, что определяет специализацию выращиваемых сельскохозяйственных культур.

Рельеф Севастополя также отличается разнообразием – равнины представлены на Гераклейском полуострове и в низовьях долин рек Черная, Кача, Бельбек, слабонаклонные поверхности – в Предгорье, на склонах Главной, Внутренней и Внешней гряд Крымских гор и платообразные вершины гор (яйлы).

Субгоризонтальные поверхности подходят для выращивания винограда, слабонаклонные и субгоризонтальные – для размещения садов. Расчленённые склоны гор слабо пригодны для выращивания сельскохозяйственных культур, хотя исторически на них были представлены горно-лесные сады (чаиры) и отгонное скотоводство.

При этом, различные сельскохозяйственные культуры требуют разные природные агроклиматические условия. В структуре современного сельскохозяйственного производства региона значительную роль играют виноградарство и плодоводство – выращивание косточковых и семечковых культур [12].

Виноградарство. Виноград отличается повышенными требованиями к природным условиям, особенно микроклимату и качеству почвы. Природные факторы оказывают влияние не только на качество и вкус винограда, но и на вкус получаемого продукта – вина.

Согласно схеме агроклиматического районирования Крыма для выращивания винограда (рис. 5) территория Севастополя также отличается разнообразием.



Рис. 5. Схема агроклиматического районирования Крыма для выращивания винограда [13]

Территория города в административных границах входит в три зоны, две из которых относятся к наиболее благоприятным.

Как видно, большая часть территории города входит в наиболее благоприятные для виноградарства Западный предгорно-приморский и Предгорный агроклиматические районы. В целом, природные условия Севастополя способствуют развитию виноградарства.

Плодоводство. Крымский полуостров исторически специализировался на создании садов, выращивании фруктов, отличающихся высокими вкусовыми качествами. С точки зрения садоводства на территории Крымского полуострова выделены восемь агроклиматических районов, пригодных для выращивания плодовых культур (рис. 6).

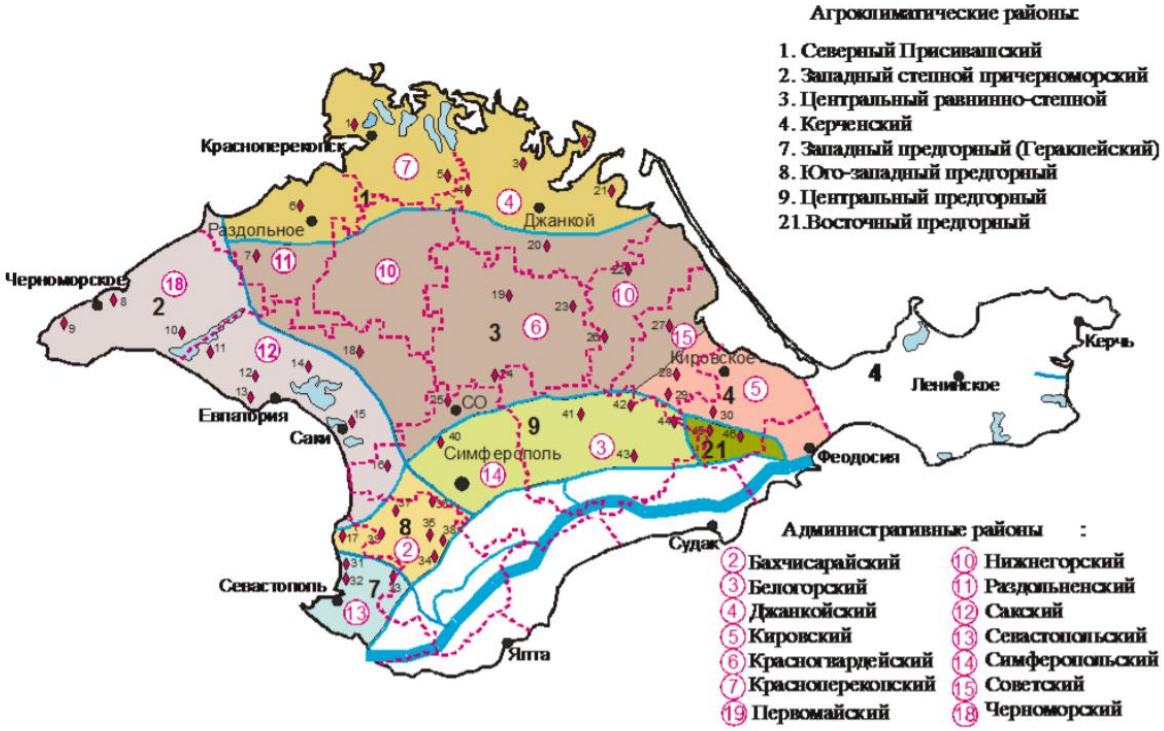


Рис. 6. Агроклиматические и административные районы и обследованные сады Крыма (Опанасенко 2014) [14]

Как видно, территория Севастополя относится к 7. Западному предгорному (Гераклейскому) и 8. Юго-западному предгорному районам. Для них характерно жаркое лето, мягкая зима.

Оценка агроклиматического ресурсного потенциала показала, что условия территории Севастополя благоприятны для выращивания таких семечковых и косточковых культур, как персик, черешня, слива, яблоня, груша, а также орехоплодной культуры - миндаля.

Неблагоприятные природно-климатические явления формируют ограничения и риски для ведения сельского хозяйства, в частности, выращивания винограда и плодовых культур. ажным параметром для развития растениеводства является температурный режим. Морозоопасность территории накладывает ограничения на выращивание плодовых культур [15].

Вторым важнейшим лимитирующим климатическим фактором является влагообеспеченность. Необходимо отметить, что средняя многолетняя урожайность косточковых культур в исследованных садах на орошении составила 118 ц/га, без орошения – 82 ц/га, а урожайность семечковых культур была 136 и 70 ц/га, соответственно [12].

Для приморского города характерны зимние шторма. Кроме опасности, которые представляют собой штормовая деятельность и шквальный ветер, Севастопольскому району наносят ущерб чрезвычайные ситуации, связанные с резкими заморозками. Так, по данным Министерства чрезвычайных ситуаций России отмечались следующие чрезвычайные ситуации (табл. 1).

***Таблица** Данные о чрезвычайных ситуациях, обусловленные заморозками района Севастополя [9]*

№ п/п	Описание ЧС	Краткое описание и последствия
1	ЧС связанная с массовым повреждением и гибелью посевов, несобранным урожаем, вследствие заморозков Объекты сельского хозяйства Региональный 20.01.2006	На протяжении января 2006 года наблюдалось резкое снижение температур окружающей среды до –20–26°С, в результате чего зафиксировано повреждение и гибель виноградников, плодовых садов посевов озимой пшеницы и ячменя.
2	ЧС связанная с массовым повреждением и гибелью посевов, несобранным урожаем, вследствие заморозков Объекты сельского хозяйства Местный. Январь-февраль	На территории предприятий в результате неблагоприятных погодных условий (заморозки до -7°С) произошли значительные повреждения и гибель технических и столовых сортов виноградников. В совхозе-заводе им. П. Осипенко (поселок Осипенко) повреждено виноградников на площади свыше 230 га (40-45% от общей площади), ГП «Садовод» (с. Верхнесадовое) повреждено виноградников на площади свыше 410 га (до 70% от общей площади) и ООО «Качинский+» (с. Андреевка) повреждено виноградников на площади свыше 567 га (70-85% от общей площади).
3	ЧС связанная с массовым повреждением и гибелью посевов, несобранным урожаем, вследствие заморозков Объекты сельского хозяйства Местный. Январь-февраль	На территории аграрных предприятий г. Севастополя в период с 26 января по 8 февраля 2012 года наблюдалось значительное снижение температур до –22°С, при этом скорость ветра колебалась от 15 до 28 м/с. В результате неблагоприятных метеорологических условий возникло повреждение многолетних насаждений морозами. Наибольшие повреждения получили плодные косточковые культуры и виноград следующих хозяйств: ПАО «Артвин» (12,8–50% повреждений); ООО «Качинский +» (24%– 89% повреждений); ГП «Совхоз-завод имени Полины Осипенко» (20–70% повреждений).

В Севастопольском районе штормовая деятельность и шквальный ветер приходятся на осенне-зимний период. Смерчи и ураганы встречаются в Севастопольском регионе преимущественно в августе-октябре. Хотя встречаются и исключения. Так, 30 января 2012 г. над морем возникло несколько небольших смерчей. На морском побережье шторма вызывают ветры юго-западного направления.

Туман наносит большой вред многим отраслям народного хозяйства, особенно сельскому хозяйству и транспорту (воздушному, морскому, автомобильному). Среднее число дней с туманом на побережье в Севастополе составляет 16 дней [8]. Максимум туманов отмечается весной, минимум - летом.

Грозы относятся к опасным явлениям природы. Распределение числа дней с грозой связано не только с радиационными факторами, но и с физико-географическими особенностями территории, окрестностях Севастополя- 17-25 дней. Наибольшего развития грозы достигают в июне - июле – 5-7 дней с грозой.

В теплый период года во время развития грозовой деятельности и ливневых дождей может выпадать град. Наиболее часто образование града связано с прохождением холодных фронтов и фронтов окклюзии. Обычно град отмечается на отдельных изолированных участках разнообразной формы, площадь которых иногда составляет до десятка, а иногда до сотни км, а также в виде отдельных полос в несколько сотен метров и длиной до десятка километров.

Град в Крыму - явление редкое, но выпадение его возможно в течение всего года, и ни в одном из месяцев он не бывает ежегодно. Чаще всего он выпадает в мае - августе. Максимальное число дней с градом отмечается в горах-12, на остальной территории оно не превышает 4-5 [8].

Таким образом, юго-западная часть Крыма (Севастопольский район) характеризуется большим набором опасных явлений и процессов природного происхождения, которые накладывают ограничения на ведение сельскохозяйственной

деятельности и, в частности, виноградарства и плодоводства.

Заключение

Территория города характеризуется высоким разнообразием местных климатов и почв, что создает предпосылки для развития широко спектра отраслей сельского хозяйства. Основные региональные лимитирующие факторы - морозоопасность и влагообеспеченность.

Агроклиматические условия территории города позволяют выращивать виноград, персик, черешню, сливу, яблоню, грушу из категории семечковых и косточковых культур и миндаль из орехоплодных культур. Исторически сложившаяся специализация на выращивании культуры винограда и плодовых подтверждает их эффективность и экономическую рентабельность.

Почвенно-климати ческие условия города позволяют выращивать виноград различных сортов для производства широкой линейки вин.

Риски для виноградарства и плодоводства создают такие неблагоприятные гидрометеорологические явления, как сильные ветры, обильные осадки, град, туман.

Приоритетным направлением развития АПК Севастополя является растениеводство. Наблюдается преимущественное развитие виноградарства, а также выращивания плодово-ягодных культур.

Список литературы

1. Ассоциация кластеров и технопарков России [Электронный ресурс]. – URL: https://www.akitrf.ru/ (дата обращения: 20.12.2020)
2. Сердобинцев Д.В. Теория и практика формирования и функционирования региональных агропромышленных кластеров в регионах Поволжья // Региональная экономика: теория и практика. №36 (363). 2014. С. 34-47.
3. Щетинина И.В. Агропромышленные кластеры и их роль в инновационном развитии агропромышленного комплекса России // Инновационная экономика: от теории к практике. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией Н.В. Фадейкиной. 2014. Новосибирск, 24-25 октября 2014 г. С. 74-81.
4. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2018 году. М.: Росреестр, 2019. [Электронный ресурс]. – URL: https://rosreestr.gov.ru/ (дата обращения: 20.12.2020)
5. Официальный сайт Правительства города Севастополя [Электронный ресурс]. – URL: https://sev.gov.ru/goverment/priorities/43405/ (дата обращения: 20.12.2020)
6. Атлас почв Украинской ССР. Под ред. Крупского Н.К., Полупана Н.И., К.: Урожай, 1979. – 160 с.
7. Багров Н.В., Вахрушев Б.А., Карпенко С.А. Атлас Автономная республика Крым. – Киев – Симферополь: 2004. – 113 с.
8. Климатический атлас Крыма. - Симферополь: Таврия-Плюс, 2000. - 118 с.
9. Официальный сайт МЧС Республики Крым [Электронный ресурс]. – URL: https://mchs.rk.gov.ru/ru/structure/2021_01_15_11_14_2019_god (дата обращения: 20.21.2020)
10. Управление Федеральной службы государственной статистики по Республике Крым и г. Севастополю [Электронный ресурс]. – URL: https://crimea.gks.ru/ (дата обращения: 20.12.2020)
11. Важов В.И. Агроклиматическое районирование Крыма // Почвенно-климатические ресурсы Крыма и рациональное размещение плодовых куьтур: сб. науч. трудов. – 1977. – Т. 71. – С. 92-120.
12. К созданию промышленных садов плодовых культур в Крыму (научно-практическое издание). Ялта: Накитский ботанический сад, 2017. – 212 с.
13. Концепция стратегии развития отрасли виноградарства и виноделия в Республике Крым и городе федерального значения Севастополь на период 2014 - 2025 гг. (Винодельческая провинция Крым) [Электронный ресурс]. – URL: http://kbvw.ru/images/docs/titov-strategiya.pdf (дата обращения: 20.12.2020)
14. Опанасенко Н.Е., Костенко И.В., Евтушенко А.П. Об агроэкологическом районировании степного и предгорного Крыма под плодовые культуры на современном этапе // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. Т.139. 2014 С. 169-178.
15. Маслова В.Н., Рыбалко Е.А., Баранова Н.В., Ткаченко О.В., Твардовская Л.Б., Иванченко В.И., Воскресенская Е.Н., Вышкваркова Е.В., Коваленко О.Ю., Новиков А.А., Борисенко М.Н. Научно обоснованная концепция для разработки модели перспективного планирования размещения виноградних насаджений в западном предгорно-приморском районе Крыма в условиях изменяющегося климата // Виноградарство и виноделие. 2015. Т. 45. С. 25-29.
16. Рыбалко Е.А., Иванченко В.И., Воскресенская Е.Н., Вышкваркова Е.В., Коваленко О.Ю. Микроклиматическое районирование западного предгорно-приморского района Крыма для раз-

вития виноградарства // Системы контроля окружающей среды. 2015. № 2 (22). С. 97-101.

References

1. Association of Clusters and Technoparks of Russia [Electronic resource]. - URL: https://www.akitrf.ru/ (date of access: 20.12.2020)
2. Serdobintsev D.V. Theory and practice of the formation and functioning of regional agro-industrial clusters in the Volga regions // Regional economy: theory and practice. No. 36 (363). 2014. P. 34-47.
3. Shchetinina I.V. Agroindustrial clusters and their role in the innovative development of the agroindustrial complex of Russia // Innovation economy: from theory to practice. Collection of scientific papers based on the materials of the International Scientific and Practical Conference. Under the general editorship of N.V. Fadeikina. 2014. Novosibirsk, October 24-25, 2014. P. 74-81.
4. State (national) report on the state and use of land in the Russian Federation in 2018. Moscow: Rosreestr, 2019. [Electronic resource]. - URL: https://rosreestr.gov.ru/ (date of access: 20.12.2020)
5. Official website of the Government of the city of Sevastopol [Electronic resource]. - URL: https://sev.gov.ru/goverment/priorities/43405/ (date of access: 20.12.2020)
6. Atlas of soils of the Ukrainian SSR. Ed. Krupskogo N.K., Polupana N.I., K .: Harvest, 1979. - 160 p.
7. Bagrov N.V., Vakhrushev B.A., Karpenko S.A. Atlas Autonomous Republic of Crimea. - Kiev - Simferopol: 2004. - 113 p.
8. Climate Atlas of Crimea. - Simferopol: Tavria-Plus, 2000. - 118 p.
9. The official website of the Ministry of Emergencies of the Republic of Crimea [Electronic resource]. - URL: https://mchs.rk.gov.ru/ru/structure/2021_01_15_11_14_2019_god (date of access: 20.12.2020)
10. Office of the Federal State Statistics Service for the Republic of Crimea and the city of Sevastopol https://crimea.gks.ru/ (date of access: 20.12.2020)
11. Vazhov V.I. Agroclimatic zoning of Crimea // Soil and climatic resources of Crimea and rational distribution of fruit crops: collection of articles. scientific. works. - 1977. - T. 71. - P. 92-120.
12. To the creation of industrial orchards of fruit crops in the Crimea (scientific and practical edition). Yalta: Nakitsky Botanical Garden, 2017. - 212 p.
13. The concept of the strategy for the development of the wine-radar and wine-making industry in the Republic of Crimea and the federal city of Sevastopol for the period 2014 - 2025. (Wine-making province of Crimea) [Electronic resource]. - URL: http://kbvw.ru/images/docs/titov-strategiya.pdf (date of access: 20.12.2020)
14. Opanasenko N.E., Kostenko I.V., Evtushenko A.P. On agroecological zoning of the steppe and foothill Crimea for fruit crops at the present stage // Collection of scientific works of the State Nikitsky Botanical Garden. Vol. 139. 2014. P. 169-178.
15. Maslova V.N., Rybalko E.A., Baranova N.V., Tkachenko O.V., Tvardovskaya L.B., Ivanchenko V.I., Voskresenskaya E.N., Vyshkvarkova E.V., Kovalenko O.Yu., Novikov A.A., Borisenko M.N. Scientifically grounded concept for the development of a model for long-term planning of the placement of vine plantations in the western foothill-coastal region of the Crimea in a changing climate // Viticulture and winemaking. 2015.Vol. 45, pp. 25-29.
16. Rybalko E.A., Ivanchenko V.I., Voskresenskaya E.N., Vyshkvarkova E.V., Kovalenko O.Yu. Microclimatic zoning of the western foothill-coastal region of Crimea for the development of viticulture // Environmental Control Systems. 2015. No. 2 (22). P. 97-101.

УДК 628.161.2

Математическое описание процессов извлечения хлоридов из раствора хлорида натрия в четырехкамерном электролизере

Г.В. Кучерик, Ю.А. Омельчук, О.В. Флёрко
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33, г. Севастополь, 299053, Россия. Galina_kucherik@mail.ru

Статья поступила 21.01.2021 г.; после доработки 22.01.2021 г.

Аннотация

Проведены исследования по определению условий переработки щелочных хлорсодержащих растворов в четырехкамерном электролизере с получением соляной кислоты и раствора NaOH, который можно повторно использовать для регенерации анионита. Проведен ряд процессов электролиза при увеличении исходных концентраций щелочи в катодной области и кислоты. Рассчитаны уравнения регрессии для зависимости выделенного из регенерационного раствора количества хлоридов за определенный промежуток времени, в зависимости от концентрации кислоты в третьей камере электролизера.

Ключевые слова: соляная кислота, сточные воды, хлориды, щелочь, электродиализ, электролизер.

Mathematical description of chloride extraction processes from sodium chloride solution in a four-chamber electrolyzer

G.V. Kucherik, Yu.A. Omelchuk, O.V. Flyorko
Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st,, Sevastopol, 299053, Russia
Galina_kucherik@mail.ru

Received 21.01.2021y.; received in final form 22.01.2021y.

Abstract

Research has been carried out to determine the conditions for processing alkaline chlorine-containing solutions in a four-chamber electrolyzer to obtain hydrochloric acid and NaOH solution, which can be reused for the regeneration of the anion exchanger. A number of electrolysis processes were carried out with an increase in the initial concentrations of alkali in the cathode region and acid in chamber III. Regression equations are calculated for the dependence of the amount of chlorides released from the regeneration solution for a certain period of time, depending on the concentration of acid in the third chamber of the electrolyzer.

Keywords: hydrochloric acid; wastewater; chlorides; alkali; electrodialysis; electrolyzer.

Введение

В технологии ионообменного умягчения воды большое значение имеет регенерация ионообменников. В зависимости от природы агента, который применяют для регенерации ионитов, различают химическую (реагентную), термохимическую и электрохимическую регенерацию. Самое большое распространение благодаря высокой эффективности, универсальности, простоте и доступности приобрела химическая регенерация [1]. Для химической регенерации применяют растворы минеральных кислот, щелочей, солей, органические растворители. Регенерация ионообменных смол состоит в восстановлении начальной ионной формы смолы. При

этом ионы с большей энергией связи с функциональными группами ионита должны быть вытеснены со смолы ионами, энергия взаимодействия которых с ионитом значительно меньше.

Если иониты сорбировали органические вещества, то регенерация смолы зависит от механизма поглощения органических веществ. Так, если органические вещества сорбированы по механизму “чистого” ионного обмена, то регенерацию осуществляют, как и при десорбции неорганических ионов. Если поглощение органических веществ обусловлено молекулярной сорбцией или за счет сил взаимодействия гидрофобной части молекул с матрицей ионита, то регенерация последнего растворами неорганических электролитов невозможная. В таком случае применяют совместный процесс ионного обмена и экстракции органических примесей из фазы ионита. Для этого, как правило, используют смесь воды, неорганического электролита и органического растворителя, который хорошо смешивается с водой (метанол, этанол, диоксан, ацетон, этилацетат и т.п.). Из отработанного раствора растворитель отгоняют, конденсируют и используют повторно.

В работе [2] определяется степень регенерации катионитов (КУ-2-8, КУ-36, СУ, КБ-4Г-2) и анионитов (АН-36, АН-63, АН-64, ЭДЭ-10Г, АВ-17-8) в зависимости от затраты соответствующих реагентов оптимальной концентрации. Оптимальные концентрации реагентов, обеспечивающих заданную степень регенерации при минимальном расходе приведены в таблице 1.

Таблица 1 *Оптимальные концентрации реагентов, обеспечивающих заданную степень регенерации при минимальном расходе [2]*

Ионит	Регенерат и его оптимальная концентрация, н		Процент восстановленной емкости от полной обменной емкости ионита				
			35	50	75	90	99
			Затрата реагента в долях ПОЕ смолы (числитель) и в процентах (знаменатель) от стехиометрично необходимого количества				
КУ-2-8	HCl	2	0,38/108	0,60/120	1,8/240	3,8/422	8,75/875
КУ-1	HCl	0,5	0,40/114	0,80/160	3,0/400	6,6/733	14/1400
КУ-36	HCl	1,0	0,40/114	0,60/120	1,6/213	4,6/510	13,3/1330
Сульфоуголь	HCl	0,5	0,40/114	0,72/144	1,6/213	3,25/360	7,1/710
КБ-4Г-2	HCl	0,1	0,40/114	0,60/120	1,2/160	2,1/230	6,8/680
АН-31	NaOH	0,25	0,39/111	0,57/114	0,85/113	1,13/125	2,2/220
АН-36	NaOH	0,25	0,38/110	0,53/106	0,8/106	0,96/107	1,3/130
АН-63	NaOH	0,25	0,35/100	-	0,8/106	1,2/133	2,1/210
АН-64	NaOH	0,25	-	-	0,8/106	1,2/133	2,9/290
ЭДЭ-10Г	NaOH	0,25	-	-	-	1,2/133	2,45/245
АВ-17-8	NaOH	0,5	0,52/150	1,6/320	6,4/853	12,8/1420	20,8/2080

В процессе регенерации ионообменных смол актуальным вопросом является утилизация регенерационных растворов с целью повышения экономической эффективности ионообменного процесса и предотвращение загрязнения окружающей среды. Эта задача решается разными способами [1]. Первый способ состоит в регенерации ионитов реагентом, который используют в основном производстве как сырье или вспомогательный материал с дальнейшим возвращением реагента, который образуется, в основное производство без специальной обработки.

Например, для предприятий фосфорной промышленности можно применять растворы фосфорной кислоты и аммиака. Далее такие регенерационные растворы смешивают с основ-

ным потоком фосфорной кислоты, которая поступает на переработку. Аналогичный метод применяют на предприятиях азотной промышленности. Как регенерационные растворы здесь используют 2-6%-ые растворы H_2SO_4, 10–25%-ые растворы HNO_3, 2 – 10%-ые растворы аммиака, 35 – 40%-ые растворы формальдегида и других соединений. Образующиеся в ионообменных установках для очистки сточных вод регенерационные растворы, содержащие цинк и хром, предложено использовать как микроудобрения.

Второй метод состоит в регенерации ионитов раствором реагента, который является отходом производства на данном или соседнем предприятии с дальнейшей подачей реагента на смешивание с основным потоком отходов производства. Так, регенерация смол после ионообменной очистки слабоминерализованных продувочных и поверхностных сточных вод осуществляется с помощью 1,5 – 2%-ых и более концентрированных растворов H_2SiF_6. Эти растворы образовываются в процессах адсорбции отведенных фтористых газов производства экстракционной фосфатной кислоты и дальнейшей нейтрализации известью с целью осаждения фтора. Аналогичный метод используют для регенерации катионитов в процессе ионообменной очистки промывных вод гальванических производств. В этом случае применяют растворы сульфатной, хлоридной или фосфорной кислот с дальнейшей подачей реагентов в электролизные ванны. Этот способ основан на принципе предварительной эксплуатации сточных вод, которые содержат регенерирующий агент перед их изоляцией или обезвреживанием.

Третьим методом, который применяют довольно часто, является обработка регенерационных растворов химическими, физическими или биологическими агентами. Из химических агентов используют осадители, окислители, газообразователи, иониты и т.п., из физических – высокие и низкие температуры, УФ-облучение, водяной пар, электрический ток.

Наиболее экономичным метод становится тогда, когда достигается восстановление регенерационного раствора и утилизация изъятых примесей. Так, хлориднокислый регенерат, который образуется во время очистки хромовых и цинковых сточных вод гальванических цехов обрабатывают щелочью. При этом образуется осадок, который после просушивания и прокаливания представляет собой оксид цинка с примесями кальция, алюминия, железа, хрома в таких количествах, которые не мешают использованию полученного продукта для изготовления цинковых белил.

Используют также методы осаждения известью и карбонатом натрия соединений кальция и магния из регенерационного раствора хлоридов кальция, магния и натрия, осаждение катионов щелочноземельных и цветных металлов в виде фосфатов из регенерационных фосфатнокислых растворов фосфатов натрия или аммония с дальнейшим возвращением раствора фосфата натрия или аммония на регенерацию катионита, который используют для изъятия щелочноземельных и цветных металлов из водных растворов.

Регенерационные щелочные растворы, которые содержат большое количество красителей обрабатывают окислителями ($NaClO$, Cl_2, озон) с одновременным УФ-облучением, что дает возможность снизить величину ХПК раствора на 95–97%, и практически полностью (99%) обесцветить и восстановить реагент.

Биологическая обработка регенерационных растворов представляет интерес в технологии очистки сточных вод, которые содержат органические соединения, ионы аммония, нитраты и другие биогенные вещества.

Регенерационные растворы, которые образуются в процессе обессоливания сточных вод, могут быть утилизированные вымораживанием, дистилляцией, электродиализом.

И, наконец, последний способ обезвреживания регенерационных растворов – это их изолирование от окружающей среды. Он связан с безвозвратной потерей реагентов и нуждается в немалых дополнительных затратах. Реализуют этот метод следующими путями: сбрасыванием в специальные выпарительные бассейны или накопители шлама и других твердых отходов с целью подавления пылеобразования, закаткам регенерационных растворов в подземные горизонты или передачам по специальному трубопроводу на расстояние в такое хранилище, где они не вызовут химического или другого загрязнения. Этот способ основан на перемещении загрязнителей с одного места окружающей среды в другое и потому с экологической точки зрения наименее пригодный.

Электрохимический метод утилизации сточных вод в последние годы выходит за рамки лабораторных исследований и все шире внедряется в промышленность. Одним из важных направлений его использования может стать очистка регенератов ионообменных обессоливающих установок.

Переработка регенерата анионита ЭДЭ-10П в кислоту и щелочь на исследовательской полупромышленной электродиализной установке

была рассмотрена в работе [3]. Для изучения конверсии регенерата анионита ЭДЭ-10П методом электродиализа в лабораторных условиях использовалась четырехкамерная ячейка: катод – катионная мембрана – анионная мембрана - катионная мембрана – анод. При этом были изучены основные показатели процесса. Так при напряжению 6 В выход щелочи по току составлял 94%. Затрата электроэнергии на получение 1 г-экв щелочи равна 0,172 кВт·ч. Опыты показали, что органические вещества, которые содержатся в регенерате, не влияют на кинетику процесса. Однако в более высоких концентрациях они способны влиять на работу мембран. Поэтому должен соблюдаться режим регенерации ионообменных смол, предупреждающий их деструкцию. Также было выяснено, что использование графитовых электродов без предварительной специальной обработки нежелательно, поскольку в процессе продолжительной эксплуатации они разрушаются.

Также процесс переработки регенерата методом электродиализа был описан в работе [4]. В этой работе исследовалось выделение серной кислоты из регенерата катионитного фильтра, который содержит ионы тяжелых металлов методом электродиализа. Показано, что при выделении и концентрировании серной кислоты из регенерата ионы никеля (II), хрома (III), железа (II) увеличивают время прохождения процесса, практически не меняя ни затрат электроэнергии на перенос серной кислоты, ни достаточно низкого выхода по току.

Известно несколько технических решений, направленных на выделение серной кислоты из отработанных регенерационных растворов Н-ионитных фильтров и последующего ее использования для регенерации этих фильтров [69-71]. Все они основаны на эффекте трансформации сульфатной формы высокоосновных анионообменников в бисульфатную при контакте ионита с раствором, который содержит серную кислоту, и десорбции кислоты водой.

В [5-7] рассматриваются процессы выделения серной кислоты из «мягких» отработанных регенерационных растворов, которые содержат серную кислоту и сульфат натрия. В этом случае отсутствует риск осаждения гипса в пласте анионообменника, а средняя концентрация кислоты в отработанных регенерационных растворах значительно меньше концентрации сульфата натрия, поскольку регенерации подлежит натриевая форма катионита. Это позволяет использовать для восстановления рабочей обменной емкости Н-ионита относительно концентрированные растворы серной кислоты [6], что наряду с относительно небольшим содержанием серной кислоты в отработанном растворе определяет возможность эффективного распределения солевого и кислого компонентов смеси с применением анионитных фильтров приблизительно того же объема, что и Н-ионитный фильтр [7].

Основной трудностью в практической реализации технических решений [5-7] является их сложность, связанная не только с дополнительным оборудованием ионообменной установки, но и дополнительными операциями получения натриевой формы катионита перед его обработкой кислотой и регенерационных растворов сульфата натрия, которые предназначены для десорбции ионов кальция и магния из катионитных фильтров.

Так, поскольку небольшой избыток (1,2 – 1,6 экв на 1 экв поглощенных ионов) серной кислоты позволяют эффективно регенерировать только натриевую форму катионита, необходимо использовать либо предварительное умягчение воды перед ее подачей на Н-ионитный фильтр, либо перед пропуском кислоты регенерировать катионообменник раствором натриевых солей.

В первом случае значительно возрастает износ оборудования, и в обеих вариантах реализации процесса осуществляется дополнительная операция перевода катионитного фильтра преимущественно в натриевую форму.

Для регенерации катионита в кальциево-натриевой форме необходим раствор натриевых солей с концентрацией не менее 2%, что требует концентрирования нейтрального отработанного регенерационного раствора серной кислотой.

Ранее были изучены процессы получения кислоты и щелочи в процессах переработки регенерационных растворов и сточных вод, содержащих хлориды, определить возможный предельный уровень концентраций щелочи в катодной области и кислоты в анодной области [8] .

Исследования проводили, используя регенерационные растворы, содержащие 17500 мг/дм^3 хлоридов и модельные растворы сточных вод (кубовые остатки производства ионообменных смол, содержащие 60700 и 108122 мг/дм^3 хлоридов).

При проведении исследований использовали четырёхкамерный электролизёр (рис. 1), в котором анодная ячейка и катодная области отделены катионными мембранами МК-40. Пространство между катионными мембранами разделено анионной мембраной МА-41.

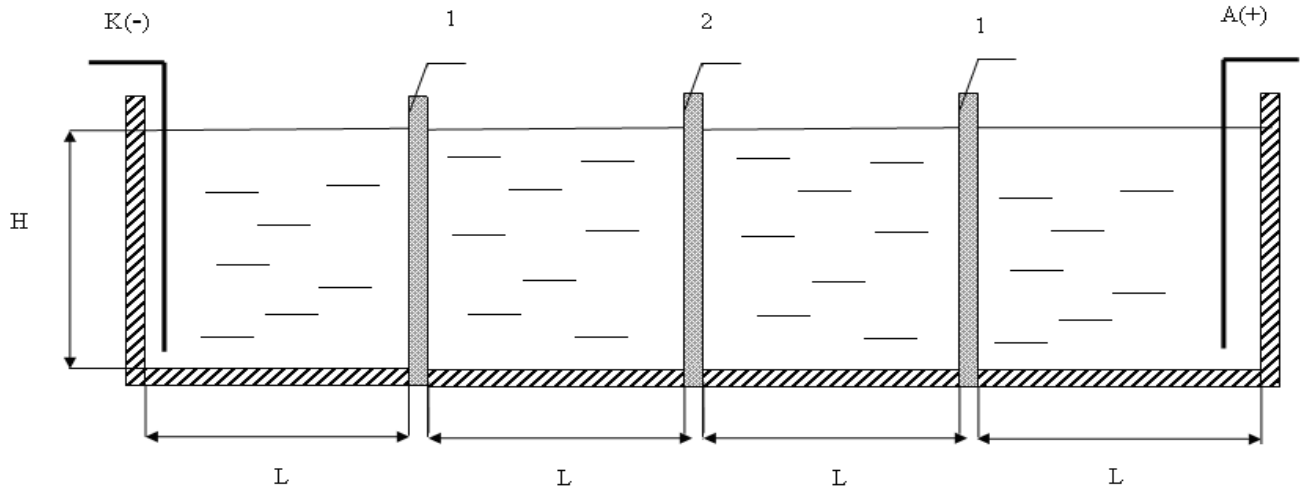


Рис. 1. Четырехкамерный электролизер: 1 – катионообменная мембрана МК-40; 2 – анионообменная мембрана АВ-17-8; К – катод – нержавеющая сталь; А – анод – титановая пластина

Конструкция электролизера такова, что в катодном пространстве происходит образование и накопление щёлочи. На катоде основным процессом является образование водорода и гидроксид-анионов. На аноде в основном происходит образование кислорода и протонов.

Камера II, в которую помещали рабочий раствор, является камерой обессоливания, камера III – это зона накопления соляной кислоты, камера I – катодная область - зона накопления щелочи и камера IV – анодная область.

Для того, чтобы определить возможный предельный уровень концентраций щелочи в катодной области и кислоты в анодной области, полученных электролизом был проведен ряд процессов электролиза при увеличении исходных концентраций щелочи в катодной области и кислоты в камере III. При электролизе раствора хлорида натрия довольно легко достичь концентрации кислоты и щелочи на уровне 5–8 %. При дальнейшем увеличении концентраций степень очистки воды от хлорида натрия со временем падает также как и выход по току соляной кислоты [8].

Цель данной работы состояла в математическом описании зависимости выделяемого из регенерационного раствора количества хлоридов за определенный промежуток времени от концентрации кислоты в третьей камере электролизера.

Для достижения цели были поставлена задача рассчитать уравнение регрессии для зависимости выделенного из регенерационного раствора количества хлоридов за определенный промежуток времени, в зависимости от концентрации кислоты в третьей камере электролизера.

Описание исследования

Для внедрения метода необходимо владеть детальными зависимостями между основными параметрами процесса в оптимальных условиях его проведения. Поэтому на основании методики [9] были рассчитаны уравнения регрессии для зависимости выделенного из регенерационного раствора количества хлоридов за определенный промежуток времени, в зависимости от концентрации кислоты в третьей камере электролизера.

В основу расчета был положен полный факторный план (ПФП) типа 2^2. План-матрица ПФП 2^2 и результаты эксперимента приведены в таблице 2.

В результате соответствующих вычислений после проверки соответствия результатов исследований и оценки значимости полученных коэффициентов и проверки уравнения регрессии на адекватность неизвестная зависимость приняла следующий вид:

$$Y = 43{,}5 - 31{,}5 \cdot X_1 - 37{,}5 \cdot X_2 + 37{,}5 \cdot X_1 \cdot X_2 . \quad (1)$$

После замены в полученном уравнении кодовых значений натуральными, получили следующее уравнение регрессии в натуральном виде:

$$X_1 = \frac{K - 1445}{555} ; \quad (2)$$

$$X_2 = \frac{t - 3}{2} ; \quad (3)$$

$$Y = 106{,}81 + 0{,}011 \cdot K - 22{,}44 \cdot t - 0{,}017 \cdot K \cdot t \quad (4)$$

Полученная зависимость представлена на рисунке 1 в виде площади, на которой лежит решение приведенного уравнения.

Анализ представленного графика показывает, что экспериментальные точки, использованные при расчете уравнения регрессии, находятся на построенных площадях решений, что свидетельствует об адекватности использованного уравнения.

Как видно из рисунка 1, при дальнейшем увеличении концентраций кислоты степень очистки воды от хлорида натрия со временем падает. Особенно резко снижается эффективность очистки при концентрации кислоты на уровне 2500–3000 мг-экв/дм3. Полученные уравнения регрессии позволяют рассчитать количество хлоридов, которое будет выделено из раствора за определенный промежуток времени, в зависимости от концентрации кислоты в третьей камере электролизера.

Таблица 2 *– План–матрица ПФП 2^2 и результаты исследований по электрохимическому извлечению хлоридов из раствора хлорида натрия в четырехкамерном электролизере*

№ п/п	Кодовые значения факторов		Натуральные значения факторов		Значения параметра оценки
					Концентрация хлоридов, мг/дм^3
	X_1	X_2	K, мг-экв/дм^3	t, ч	Y
1	+1	+1	2000	5	12
2	-1	-1	1000	1	150
3	-1	+1	1000	5	0
4	+1	-1	2000	1	296

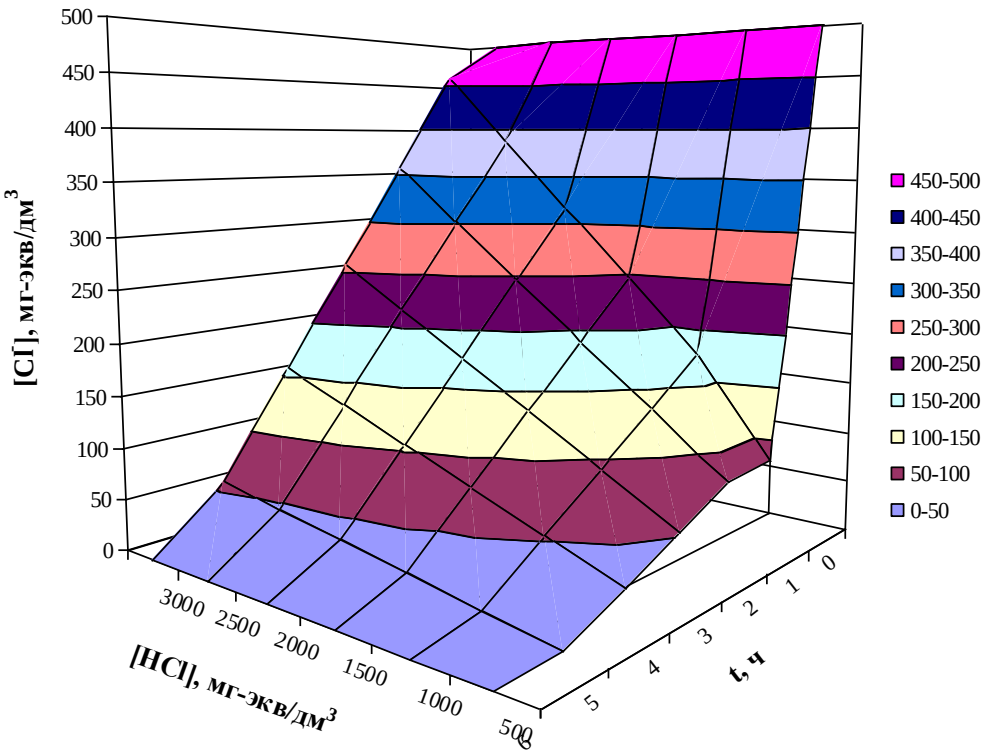


Рис. 1. Графическое изображение результатов ПФП типа 2^2 при электрохимическом выделении хлоридов из раствора хлорида натрия ([Cl^-] = 500 мг-экв/дм^3) в четырехкамерном электролизере (мембраны МК-40 – МА-41 – МК-40) в зависимости от начальной кислотности в 3-й ячейке при напряжении 30 В

Заключение

Полученные уравнения регрессии позволяют рассчитать количество хлоридов, которое будет выделено из раствора за определенный промежуток времени, в зависимости от концентрации кислоты в третьей камере электролизера.

Список литературы

1. Запольський А.К. Физико-химические основы технологи очистки сточных вод / А.К. Запольський, Н.А.Мішкова-Клименко, І.М. Астрелін та ін. // Підручник. – К.: Лібра. – 2000. – 552 с.
2. О регенерации некоторых отечественных ионитов / А.А. Мазо, Н.С. Анпилова, М.В. Пархоневич и др. // Теория и практика сорбционных процессов, Изд-во ВГУ. – 1971. – в.6. – С. 106–109.
3. Переработка регенерата анионита ЭДЭ-10П в кислоту и щелочь на опытной полупромышленной электролизной установке / Ивакина Е.И., Зубец Н.Н., Лаврова З.Д. и др. // Теория и практика сорбционных процессов, Изд-во ВГУ. – 1976. – в.11. – С. 92–95.
4. Выделение серной кислоты из регенерата катионитового фильтра методом електродиализа / Бедюх Г.А., Черевков В.В., Анищенко И.А. и др. // Теория и практика сорбционных процессов, Изд-во ВГУ. – 1972. – в.7. – С. 90–93.
5. Фейзиев Г.К. Высокоэфективные методы умягчения и опреснения воды. – М.: Энергоатомиздат. – 1988. – 192 с.
6. Джалилов М.Ф. Повышение эффективности Н-катионирования воды // Химия и технология воды, Изд-во Наукова думка. – 1987. – т.9,№3. – С. 252–255.
7. А.с. СССР, МКИ В 01 J 49/00. Способы регенерации Н-катионитового фильтра первой ступени химобессаливания воды / Г.К. Файзиев, А.М.
8. Кучерик Г.В., Омельчук Ю.А., Заблоцкая Е.В. Исследование экологически безопасного метода утилизации сточных вод электролизом / Системы контроля окружающей среды. – 2020. – Т. 39, № 1. - С. 102-108.

References

1. Zapol's'kij A.K., Mishkova-Klimenko N.A., Astrelin I.M. et al. *Fiziko-himicheskie osnovy tekhnologi ochistki stochnyh vod* [Physical and chemical fundamentals of wastewater treatment technology], Libra, 2000, 552 p.
2. Mazo A.A., Anpilova N.S., Parhonevich M.V. et al. O *regeneracii nekotoryh otechestvennyh ionitov* [Regeneration of some domestic ion exchangers], Teoriya i praktika sorbcionnyh processov, Izd-vo VGU, 1971, Vol. 6, pp. 106–109.
3. Ivakina E.I., Zubec N.N., Lavrova Z.D. et al. *Pererabotka regenerata anionita EDE-10P v kislotu i shcheloch' na opytnojp polupromyshlennoj elektroliznoj ustanovke* [Processing of regenerated anion exchanger EDE-10P into acid and alkali at a pilot semi-industrial electrolysis plant], Teoriya i praktika sorbcionnyh processov, Izd-vo VGU, 1976, Vol. 11, pp. 92–95.
4. *Bedyuh G.A., CHerevkov V.V., Anishchenko I.A. et al. Vydelenie sernoj kisloty iz regenerata ka-tionitovogo fil'tra metodom elektrodializa* [Separation of sulfuric acid from the regenerated cationite filter by electrodialysis], Teoriya i praktika sorbcionnyh processov, Izd-vo VGU, 1972, Vol. 7, pp. 90–93.
5. Fejziev G.K. *Vysokoefektivnye metody umyagcheniya i opresneniya vody* [Highly efficient methods of water softening and desalination], Moscow, Energoatomizdat, 1988, 192 p.
6. Dzhalilov M.F. *Povyshenie effektivnosti N-kationirovaniya vody* [Improving the efficiency of H-cationization of water], Himiya i tekhnologiya vody, Kiev, Naukova dumka, 1987, Vol. 9, No 3, pp. 252–255.
7. A.s. SSSR, MKI V 01 J 49/00. Sposoby rege-neracii N-kationitovogo fil'tra pervoj stupeni himobessalivaniya vody [Methods of regeneration of the H-cation exchange filter of the first stage of chemical desalination of water] / G.K. Fajziev, A.M.
8. Kucherik G.V., Omel'chuk YU.A., Zablockaya E.V. Issledovanie ekologicheski bezopasnogo metoda utilizacii stochnyh vod elektrolizom [Research of environmentally safe method of wastewater disposal by electrolyzes], Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy, 2020, Vol. 39, No 1, pp. 102-108.

УДК 502.3:669.18

Исследование применения нанопорошка оксида вольфрама для очистки сточных вод

Д.Д. Нарбекова[1], Дербасова Н.М.[2], Гавриш В.М.[3]
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33, г. Севастополь, 299053, Россия, narbekovadarya@mail.ru [1]

Статья поступила 01.02.2021 г.; после доработки 03.02.2021 г.

Аннотация
Приведены исследования по изучению фотокаталитической активности наночастиц оксида вольфрама под действием видимого света в реакциях разложения органического поллютанта (метиленовый синий).

Ключевые слова: фотокатализ, нанопорошок WO_3, метилен синий, видимый свет.

Study of the application of tungsten oxide nanopowder for wastewater treatment

D.D. Narbekova[1], Derbasova N.M.[2], Gavrish V.M.[3]
Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st,, Sevastopol, 299053, Russia, narbekovadarya@mail.ru [1]

Received 01.02.2021 y.; received in final form 03.02.2021 y.

Abstract
The article presents studies on the photocatalytic activity of tungsten oxide nanoparticles under visible light irradiation in the decomposition reactions of an organic pollutant (methylene blue).

Key words: photocatalysis, WO3 nanopowder, methylene blue, visible light

Введение

В настоящее время загрязнение воды органическими соединениями и красителями является важной проблемой. Каждый год токсичные промышленные органические красители выбрасываются в водные ресурсы во время их производства и применения.

Фотокатализ перспективен для разложения органических загрязнителей благодаря тому, что процесс можно проводить при температуре окружающей среды с использованием неисчерпаемой солнечной энергии и не требует сложного оборудования.

Многие полупроводники, такие как TiO2, ZnO и др. используются для фотокаталитического разложения органических красителей, однако низкий коэффициент поглощения видимого излучения и нестабильность их в водных средах приводит к поиску других материалов [1]. Оксид вольфрама является перспективным полупроводником, обладающим такими свойствами, как подходящая запрещенная зона (~ 2,6 эВ), хорошая химическая стабильность, высокая фотокоррозионная стойкость, большая диффузионная длина носителей (~500 нм-6μм), поглощение видимого света (~12%) и низкая стоимость[3-4].

В работе изучена фотокаталитическая активность наночастиц оксида вольфрама под действием видимого света в реакциях разложения органического поллютанта (метиленовый синий).

Методика исследований

Для изучения фотокаталитической активности наночастиц оксида вольфрама под действием

видимого света использовали образцы, полученные в НОЦ «Перспективные технологии и материалы».

Морфология поверхности образцов нанопорошка оксида вольфрама анализировалась на сканирующем электронном микроскопе PHENOM proX фирмы: Phenom–World B.V. (Нидерланды) с интегрированной системой энергодисперсионного анализа. Максимальное увеличение 150000, разрешение 10 нм, ускоряющее напряжение 5, 10, 15 кВ. Для анализа размера (рис. 1), формы и морфологии частиц использовали программное обеспечение ParticleMetric, позволяющее анализировать изображения частиц.

Микрофотографии частиц исследуемого порошка оксида вольфрама, полученные на сканирующем электронном микроскопе PHENOM proX при разном увеличении, представлены на рис. 2.

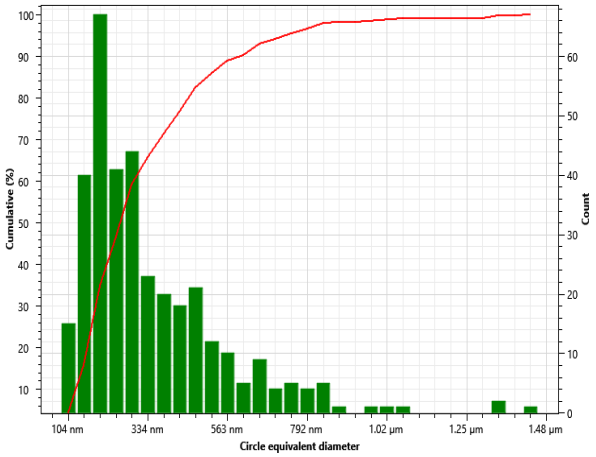


Рис.1. Среднее распределение частиц оксида вольфрама по размерам

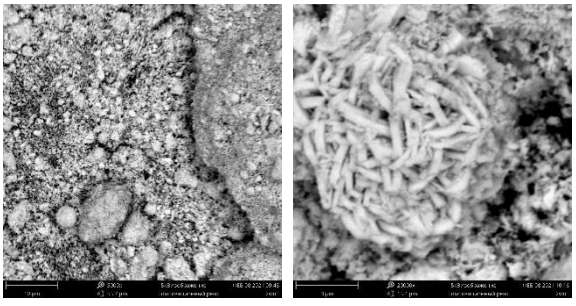


Рис. 2. Морфология поверхности нанопорошка оксида вольфрама

Фотокаталитическую активность нанопорошка оксида вольфрама изучали в водном растворе метилен синего концентрацией 9 мг/л. Процесс разложения метилен синего исследовали с помощью метода спектрофотометрии, а также по изменению цвета раствора в ходе фотокаталитической реакции. Навеску нанопорошка массой 0,2 г помещали в колбу с раствором объемом 200 мл.

Облучали стандартной LED лампой белого цвета фирма с температурой 4000 K в диапазоне длин волн 380 … 780 нм. в течение 10 ч, постоянно перемешивая на магнитной мешалке «Ритм - 01».

Пробоотбор осуществляли каждые 2 часа для контроля протекания фотохимической реакции и наблюдения за изменением концентрации поллютанта в растворе, отделяя осадок центрифугированием в течение 15 мин при 3000 об/мин.

Декантировали раствор и на фотометре «Эксперт 003» изготовитель ООО «ЭКОНИКС – ЭКСПЕРТ» оценивали концентрацию красителя по степени обесцвечивания раствора. Степень фотокаталитической активности рассчитывали по формуле:

$$E = [(C0 – Ск) / C0] \cdot 100\ \%, \quad (1)$$

где E — фотокаталитическая активность образца, %;

C0 — исходная оптическая плотность красителя в растворе;

Ск — конечная оптическая плотность красителя в растворе.

В ходе процесса раствор обесцвечивается, и наблюдалось образование «хлопьев», представляющих собой кристаллические нерастворимые продукты окисления. Основной максимум поглощения метиленового синего происходил в области 655 нм (рисунок 3).

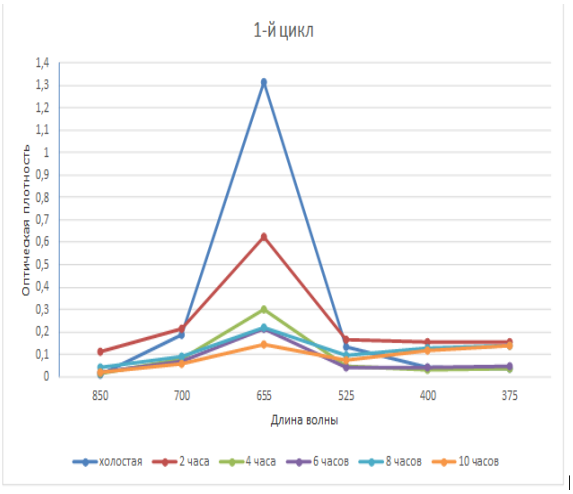


Рис. 3. УФ-вид-спектры реакции фотокатализа (первый цикл использования).

Через 10 часов непрерывного процесса значение спектра красителя снизилось почти на 90%

(рисунок 4).

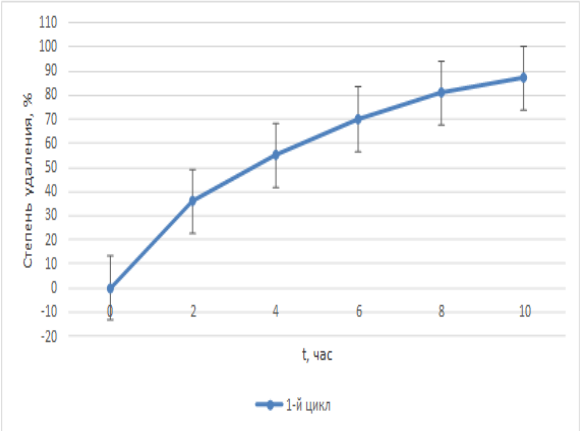


Рис. 4. Данные фотокаталитической активности в реакции фоторазложения красителя метилен синего.

Из анализа полученных данных видно, что процесс разложения метилен синего носит равномерный характер, в среднем эффективность разложения каждые 2 часа составляет 15 %

Проведен ряд экспериментов повторного использования фотокатализатора. Установлено, что фотокаталитическая активность нанопорошка сохраняется после трех циклов использования (рисунок 5)

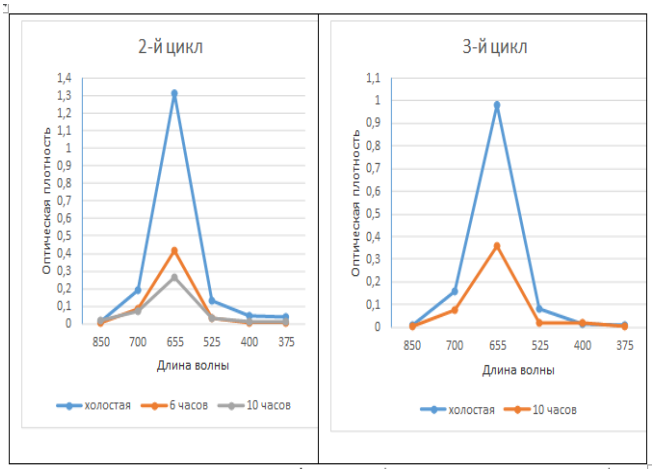


Рис. 5. УФ-вид-спектры реакции фотокатализа (второй и третий цикл использования).

Каждый последующий цикл эффективность фотокатализатора снижается в среднем на 13 %.

Изображения морфологии поверхности образцов нанопорошка после 3 циклов использования представлены на рисунке 6.

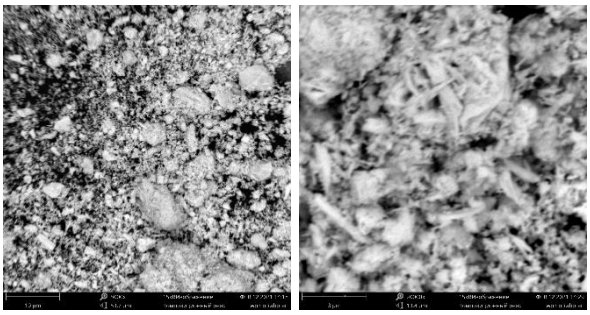


Рис. 6. Морфология поверхности образца нанопорошка оксида вольфрама после повторного использования.

Морфология поверхности нанопорошка оксида вольфрама относительно исходной после повторного использования не изменяется, что говорит о стабильности фотокатализатора.

.

Выводы

Полученные данные фотокаталитической активности нанопорошка оксида вольфрама свидетельствуют о том, что он может эффективно найти применение в технологии очистки сточных вод от органических веществ.

За 10 часов непрерывного процесса значение спектра красителя при концентрации 9 мг\л снизилось почти на 90%. Процесс разложения метилен синего носит равномерный

характер, в среднем эффективность разложения каждые 2 часа составляет 15 %.

Нанопорошок оксида вольфрама проявляет уникальные свойства. Он стабилен, химически устойчив, не растворяется, может многократно применяться.

Список литературы

1. Popov A.L., Zholobak N.M., Balko O.I., Balko O.B., Shcherbakov A.B., Popova N.R., Ivanova O.S., Baranchikov A.E., Ivanov V.K. Photo-induced toxicity of tungsten oxide photochromic nanoparticles. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 2018, Jan 20;178: 395-403.
2. Пячин С.А., Карпович Н.Ф., Зайцев А.В., Бурков А.А., Каминский О.И., Ермаков М.А. Гидротермальный синтез и фотокаталитическая активность анатаза, допированного оксидом вольфрама // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 10-2. – С. 261-266.
3. Loka, C., Lee, K.-S.Email Preparation and photocatalytic performance of silver nanocrystals loaded Cu2O-WO3 composite thin films for visible light-ac-

tive photocatalysis. Materials Research BulletinVolume 137, May 2021, 111192
4. rGO/Bi2WO6 composite as a highly efficient and stable visible-light photocatalyst for norfloxacin degradation in aqueous environment. Zhao, Y., Liang, X, Hu, X, Fan, J. Journal of Colloid and Interface ScienceVolume 589, May 2021, Pages 336-346

References

1. Popov A.L., Zholobak N.M., Balko O.I., Balko O.B., Shcherbakov A.B., Popova N.R., Ivanova O.S., Baranchikov A.E., Ivanov V.K. Photo-induced toxicity of tungsten oxide photochromic nanoparticles. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 2018, Jan 20;178: 395-403.
2. Pyachin S. A., Karpovich N. F., Zaitsev A.V., Burkov A. A., Kaminsky O. I., Ermakov M. A. Hydrothermal synthesis and photocatalytic activity of anatase doped with tungsten oxide. - 2017. - No. 10-2. - pp. 261-266.
3. Loka, C., Lee, K.-S.Email Preparation and photocatalytic performance of silver nanocrystals loaded Cu2O-WO3 composite thin films for visible light-active photocatalysis. Materials Research BulletinVolume 137, May 2021, 111192
4. rGO/Bi2WO6 composite as a highly efficient and stable visible-light photocatalyst for norfloxacin degradation in aqueous environment. Zhao, Y., Liang, X, Hu, X, Fan, J. Journal of Colloid and Interface ScienceVolume 589, May 2021, Pages 336-346

УДК 628.161.2

Очистка воды от урана и сульфатов при ее известковании в присутствии алюминиевых коагулянтов

Ю.А. Омельчук, Г.В. Кучерик
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33, г. Севастополь, 299053, Россия, Galina_kucherik@mail.ru

Статья поступила 08.02.2021 г.; после доработки 10.02.2021 г.

Аннотация

Определены условия эффективной очистки шахтных вод от сульфатов и соединений урана при их умягчении. Установлено, что использование алюминиевых коагулянтов и извести в количествах достаточных для связывания сульфатов в сульфогидроксоалюминат кальция обеспечивает снижение содержания сульфатов до 200–400 мг/дм^3 при снижении содержания урана до концентраций менее предельно допустимых в поверхностных водоемах.

Ключевые слова: алюминиевые коагулянты, известкование, очистка воды, уран, шахтные воды.

Purification of water from uranium and sulfates during liming in the presence of aluminum coagulants

Yu.A. Omelchuk, G.V. Kucherik
Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st,, Sevastopol, 299053, Russia, Galina_kucherik@mail.ru

Received 08.02.2021 y.; received in final form 10.02.2021 y.

Abstract

The conditions for the effective purification of mine waters from sulfates and uranium compounds during their softening have been determined. It has been established that the use of aluminum coagulants and lime in quantities sufficient to bind sulfates into calcium sulfohydroxoaluminate provides a decrease in the content of sulfates to 200 - 400 mg/dm^3 while reducing the uranium content to concentrations lower than the maximum permissible in surface water bodies.

Keywords: aluminum coagulants, liming, water treatment, uranium, mine waters.

Введение

В России основным урановорудным регионом является Забайкалье. На месторождении в Читинской области (около города Краснокаменск) добывается около 93 % российского урана. Добычу осуществляет шахтным способом «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» (ППГХО), входящее в состав ОАО «Атомредметзолото» (Урановый холдинг). Остальные 7 % получают методом подземного выщелачивания ЗАО «Далур» (Курганская область) и ОАО «Хиагда» (Бурятия). Полученные руды и урановый концентрат перерабатываются на Чепецком механическом заводе.

Добыча урана подземным способом не может производиться без откачки шахтных вод на поверхность. Выдаваемая из шахты вода загрязнена в разной степени взвешенными и коллоидными веществами, растворенными минеральными соединениями, бактериальными примесями, естественными радионуклидами и поэтому, как правило, не может быть использована в народном хозяйстве или сброшена в водоем без

предварительной очистки.

Эффективная очистка шахтных вод от сульфатов, глубокое их умягчение позволят использовать эти воды повторно в производстве, на энергетических объектах.

Существующие технологии очистки воды от урана сопровождаются существенным загрязнением воды сульфатами [1, 2].

Исследования работы направлены на разработку эффективных методов умягчения воды с одновременной очисткой ее от сульфатов, ионов тяжелых металлов и соединений урана. В целом это даст возможность снизить уровень минерализации природных и сточных вод, повысить их стабильность по отношению к осадкоотложениям, что позволит широко внедрять замкнутые системы водопользования в ядерной отрасли.

Описание исследования

В работе [3] показано, что гидроксоалюминат натрия обеспечивает эффективную очистку воды от урана, особенно при высоких значениях pH. С другой стороны в работах [4–6] описаны процессы очистки вод от сульфатов известкованием в присутствии алюминиевых коагулянтов. Поэтому представляло интерес проверить эффективность данных реагентов при деминерализации шахтных вод добычи урана, которые наряду с ионами жесткости и сульфатами содержат соединения урана.

Результаты исследований по извлечению сульфатов из воды в присутствии урана представлены в табл. 1.

Таблица 1 *Зависимость эффективности умягчения и очистки шахтной воды (pH=12,2; Ж=16,8 мг-экв/дм^3; Щ=6 мг-экв/дм^3; [U]=4,2 мг/дм^3) от урана и сульфатов в зависимости от доз извести и коагулянта $Na[Al(OH)_4]$*

Показатель		Доза CaO; $Na[Al(OH)_4]$, мг/дм^3	
		1860; 1047	3720; 2093
pH	нач	12,20	12,20
	ост	10,48	10,89
Жесткость, мг-экв/дм^3	нач	16,80	16,80
	ост	4,00	3,00
$[Ca^{2+}]$, мг-экв/дм^3	нач	8,80	8,80
	ост	2,00	1,00
$[SO_4^{2-}]$, мг-экв/дм^3	нач	13,30	13,30
	ост	10,00	0,40
$Щ_{общ}$, мг-экв/дм^3	нач	6,00	6,00
	ост	6,00	9,00
$Щ_{гидратная}$, мг-экв/дм^3	нач	0,00	0,00
	ост	3,50	7,00
[U], мг/дм^3	нач	4,20	4,20
	ост	0,75	0,00

Как видно из табл. 1, при обработке воды $Na[Al(OH)_4]$ и известью при больших дозах реагентов достигнуто снижение жесткости от 16,8 мг-экв/дм^3 до 3 мг-экв/дм^3, снижение содержания сульфатов от 13,3 мг-экв/дм^3 (638 мг/дм^3) до 0,4 мг-экв/дм^3 (19,2 мг/дм^3) при полном извлечении урана из воды. Безусловно, данный метод является перспективным как для дезактивации, так и для деминерализации шахтных вод.

Более детально процессы очистки воды от урана при ее умягчении представлены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, использование извести и гидроксоалюмината натрия позволило снизить жесткость воды до 0,8 мг-экв/дм^3 при почти полной очистке ее от урана.

Относительно невысокую эффективность умягчения воды можно объяснить ее низкой исходной щелочностью. В этом случае необходимо увеличение расхода гидроксоалюмината натрия, для того, чтобы убрать избыток ионов кальция. Поэтому только при значительных дозах гидроксоалюмината натрия получены удовлетворительные результаты по умягчению воды. Что же касается урана, то во всех опытах, за исключением тех, где не использовали гидроксоалюминат натрия, его остаточная концентрация не превышала ПДК в поверхностных водоемах.

В процессе комплексной обработки воды известью, гидроксоалюминатом натрия, а затем оксидом углерода (рис. 1-4) получены не только высокие результаты по очистке воды от урана, но и высокие результаты по умягчению воды и ее очистке от сульфатов.

При этом было отмечено, что во всех случаях в использованном диапазоне расходов извести и гидроксоалюмината натрия эффективность

очистки воды от соединений урана была очень высокой. Это объясняется тем, что начальные значения pH растворов были на уровне 12. Кроме того, в процессе использовались значительные количества гидроксоалюмината натрия, который очень эффективно связывает соединения урана при pH>8.

Таблица 2 *Зависимость эффективности умягчения водопроводной воды (Щ=4,4 мг-экв/дм³; Ж=7,7 мг-экв/дм³) от дозы извести и гидроксоалюмината натрия (τ=2часа) при растворении в ней $UO_2(NO_3)_2$ ([U]=4,5 мг/дм³)*

Доза CaO, мг-экв/дм³	Доза $Na[Al(OH)_4]$, ммоль/дм³	pH		Ж	Щ	[U], мг/дм³	$Z_Ж$, %	Z_U, %
		нач	ост	мг-экв/дм³				
6,16	0,0	9,50	8,92	3,8	0,4	0,390	50,65	91,33
	0,1	9,50	8,94	3,6	0,4	0,010	53,25	99,78
	0,3	9,57	9,09	3,2	0,6	0,005	58,44	99,89
	0,5	9,61	9,12	3,0	0,8	0,008	61,04	99,82
	1,0	9,73	9,34	2,4	1,2	0,003	68,83	99,93
	2,0	9,99	9,62	1,9	3,5	0,001	75,32	99,97
6,93	0,0	10,00	9,40	3,6	0,6	0,281	53,25	93,76
	0,1	10,04	9,50	3,5	0,6	0,009	54,54	99,80
	0,3	10,05	9,56	3,2	0,7	0,012	58,44	99,73
	0,5	10,08	9,60	2,8	1,2	0,011	63,63	99,76
	1,0	10,10	9,65	2,2	2,1	0,007	71,42	99,84
	2,0	10,24	9,72	1,1	4,1	0,002	85,71	99,96
7,70	0,0	10,50	9,83	3,4	0,8	0,231	55,84	94,86
	0,1	10,60	10,01	3,4	0,9	0,002	55,84	99,96
	0,3	10,70	10,06	3,1	1,2	0,005	59,74	99,89
	0,5	10,80	10,08	2,6	2,1	0,003	66,23	99,93
	1,0	11,05	10,12	2,0	3,1	0,004	74,03	99,91
	2,0	11,07	10,35	0,8	5,2	0,001	89,61	99,97

Высокую эффективность умягчения воды можно объяснить тем, что на первой стадии обработки pH достигает 12, что обеспечивает полный гидролиз ионов магния. Избыток ионов кальция связывается при обработке воды углекислотой в виде карбонатов. Сульфаты из воды выделяются в виде сульфогидроксоалюмината кальция. Недостатком этого процесса является необходимость использования углекислоты на второй стадии обработки воды. Поэтому для снижения pH обработанной воды при ее известковании вместо гидроксоалюмината натрия был использован 2/3 гидроксохлорид алюминия.

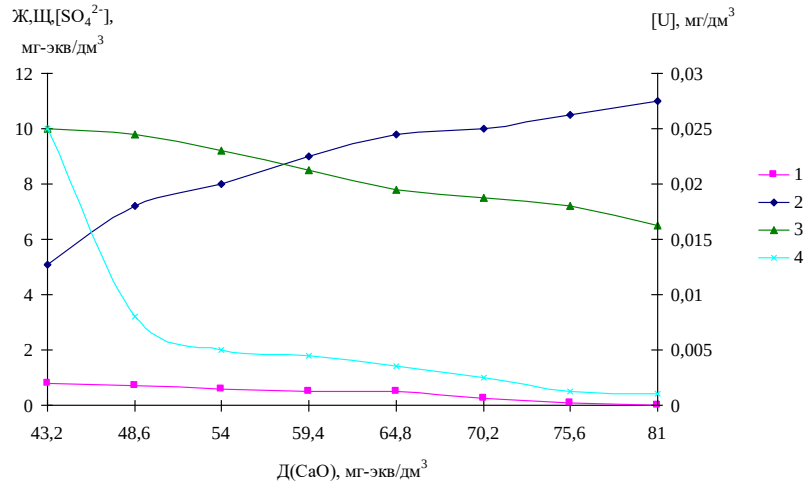


Рис. 1. Зависимость остаточных значений жесткости (1), щелочности (2), концентрации сульфатов (3) и концентрации урана (4)) от расхода извести при дозе гидроксоалюмината натрия 6,0 ммоль/дм3 в процессе обработки модельного раствора (Ж=18,0 мг-экв/дм3; [Mg2+]=11,7 мг-экв/дм3; [Ca2+]=6,3 мг-экв/дм3; [U]=4,5 мг/дм3; Щобщ=12,0 мг-экв/дм3; [SO42-]=18,021 мг-экв/дм3) данными реагентами на первой стадии и CO2 (до pH=7) на второй стадии очистки

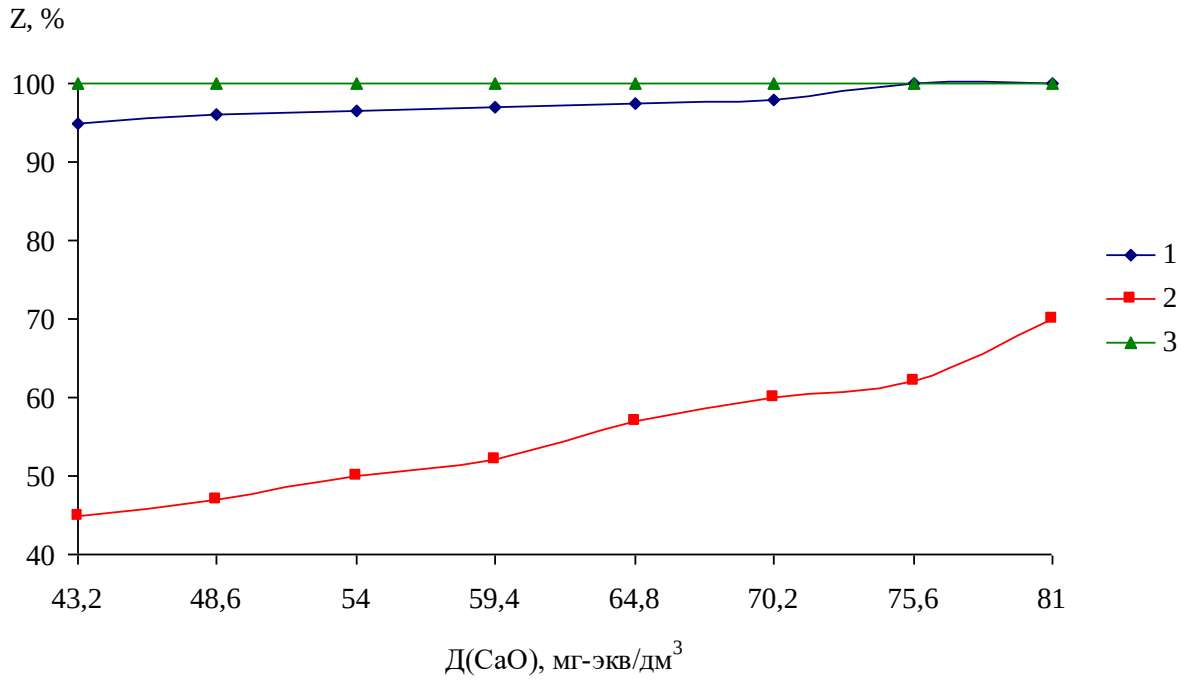


Рис. 2. Влияние расхода извести при умягчении модельного раствора (Ж=18,0 мг-экв/дм^3; [Mg^{2+}]=11,7 мг-экв/дм^3; [Ca^{2+}]=6,3 мг-экв/дм^3; [U]=4,5мг/дм^3; $Щ_{общ}$=12,0 мг-экв/дм^3; [SO_4^{2-}]=18,021 мг-экв/дм^3) на степень умягчения воды (1), очистки ее от сульфатов (2) и урана (3) при расходе гидроксоалюмината натрия 6ммоль/дм^3 на первой стадии обработки и обработке раствора CO_2 (до pH=7) на второй стадии очистки

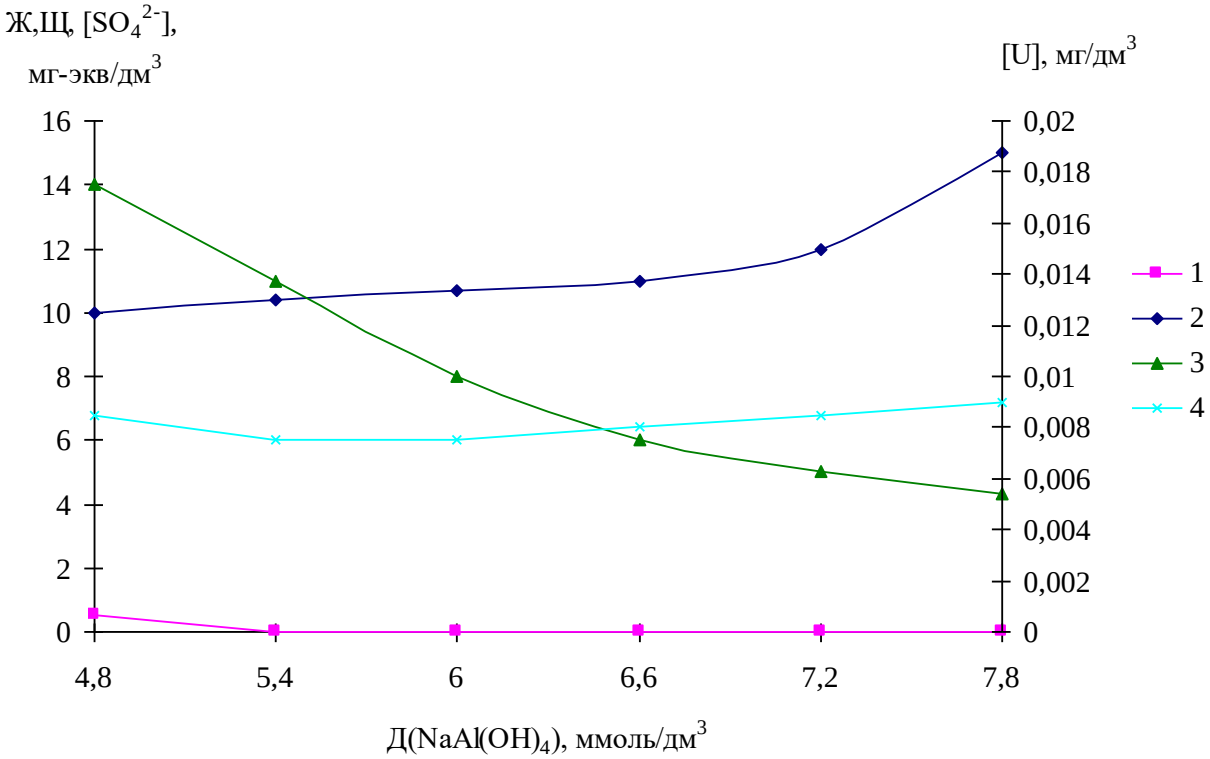


Рис. 3. Влияние расхода гидроксоалюмината натрия на остаточную жесткость (1), щелочность (2), содержание сульфатов (3) и урана (4) модельного раствора (Ж=18,0 мг-экв/дм3; [U]=4,5 мг/дм3; Щобщ=12,0 мг-экв/дм3; [SO42-]=865 мг/дм3 (18,021 мг-экв/дм3)) при расходе извести 81 мг-экв/дм3 на первой стадии обработки и обработке раствора CO2 (до pH=7) на второй стадии очистки

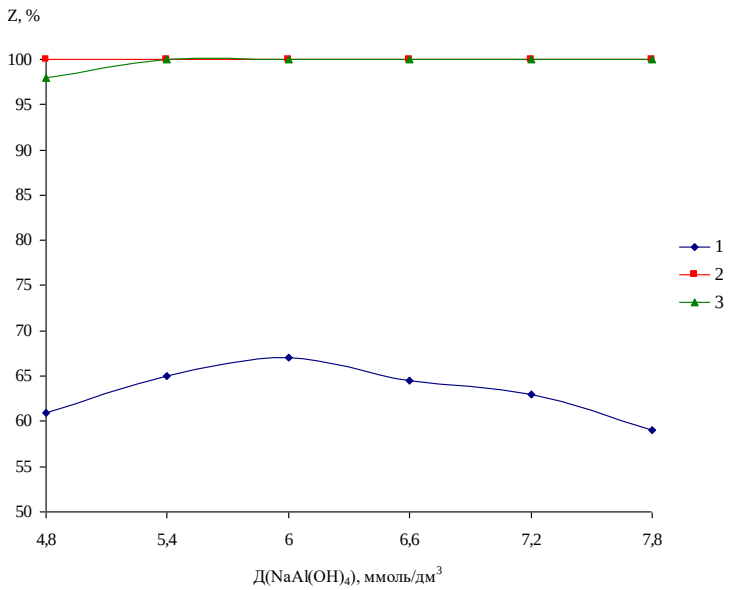


Рис. 4. Зависимость степени очистки модельного раствора (Ж=18,0 мг-экв/дм^3; [U]=4,5 мг/дм^3;Щ$_{общ}$=12,0 мг-экв/дм^3; [SO_4^{2-}]=865 мг/дм^3 (18,021 мг-экв/дм^3)) от сульфатов (1), от соединений урана (2) и степени умягчения (3) раствора от расхода гидроксоалюмината натрия при расходе извести 81 мг-экв/дм^3 на первой стадии очистки воды и обработке воды CO_2 (до pH=7) на второй стадии очистки

Как видно из табл. 3, в этом случае получены вполне удовлетворительные результаты по очистке воды от сульфатов и по умягчению воды. Высокой была эффективность очистки воды от урана. Вероятно, это обусловлено как высоким уровнем pH, так и образованием гидроксоалюмината (ГОХА) при этих значениях водородного показателя. Вследствие низкого содержания хлоридов в коагулянте содержание хлоридов в воде после очистки увеличилось незначительно, хотя в некоторых случаях, превышало 400 мг/дм^3. Для снижения остаточного содержания хлоридов в очищенной воде при ее умягчении использовали 2/3 ГОХА и гидроксоалюминат натрия (табл. 4). В этом случае удалось не только снизить остаточное содержание хлоридов в очищенной воде, но и повысить эффективность умягчения воды при почти полной ее очистке от урана.

Подобные зависимости между основными параметрами исходной воды, способом ее обработки и эффективностью очистки были получены и при использовании сточной воды из урановой шахты Ингульская (рис. 5, 6).

Таблица 3 *Зависимость эффективности умягчения модельного раствора (Щ=12,0 мг-экв/дм3; Ж=18,0 мг-экв/дм3; [U]=4,5 мг/дм3; [SO42-]=865 мг/дм3) и очистки от сульфатов и соединений урана в зависимости от дозы извести и ГОХА*

Доза CaO, мг-экв-дм^3	Доза $Al(OH)_2Cl$, ммоль/дм^3	pH		Ж$_{ост}$, мг-экв/дм^3	Щ$_{ост}$, мг-экв/дм^3	[U]	[SO_4^{2-}]	[Cl^-]	$Z_Ж$	$Z_{SO_4^{2-}}$	Z_U
		нач	ост			мг/дм^3			%		
54,0	6,0	11,01	10,50	6,5	2,0	0,035	716	416	63,89	17,2	99,2
59,4	6,0	11,24	10,42	6,0	2,0	0,020	541	398	66,67	37,5	99,5
64,8	6,0	11,70	10,61	5,5	2,0	0,017	437	398	69,44	49,5	99,6
70,2	6,0	12,05	10,72	5,0	3,0	0,010	393	381	72,22	54,6	99,8
81,0	6,0	12,81	10,82	4,5	4,0	0,003	363	363	75,00	58,0	99,9
81,0	4,8	12,05	10,47	8,0	5,0	0,047	531	318	55,55	38,6	98,9
	5,4	12,05	10,34	7,0	3,5	0,031	380	363	61,11	56,0	99,3
	6,0	12,37	10,01	5,0	3,0	0,030	360	398	72,22	58,4	99,3
	6,6	11,90	9,50	4,0	3,0	0,021	338	434	77,78	61,0	99,5
	7,2	11,85	8,95	3,0	3,0	0,011	324	469	83,33	62,5	99,8

Таблица 4 *Зависимость эффективности умягчения модельного раствора (Щ=12,0 мг-кв/дм3; Ж=18,0 мг-экв/дм3; [U]=4,5 мг/дм3; [SO42-]=865 мг/дм3; [Cl-]=168 мг/дм3) и очистки от сульфатов и соединений урана в зависимости от дозы извести, гидроксоалюмината натрия и ГОХА*

Доза CaO, мг-экв/дм^3	Доза $Na[Al(OH)_4]$: $Al(OH)_2Cl$, ммоль/дм^3	pH		$Ж_{ост}$	$Щ_{ост}$	[U]	$[SO_4^{2-}]$	$[Cl^-]$	$Z_Ж$	$Z_{SO_4^{2-}}$	Z_U
		нач	ост	мг-экв/дм^3		мг/дм^3			%		
54,0	2:4	11,07	10,70	6,0	2,0	0,015	443	275	66,7	48,8	99,7
59,4	2:4	11,85	10,89	5,5	2,5	0,020	431	275	69,4	50,2	99,6
64,8	2:4	12,05	11,10	4,5	4,0	0,021	415	275	75,0	52,0	99,5
70,2	2:4	12,01	11,05	4,0	4,5	0,011	381	275	77,8	55,9	99,8
81,0	2:4	12,20	11,20	3,0	6,0	0,010	332	301	83,3	61,6	99,8
81,0	1,6:3,2	12,20	11,20	3,0	7,0	0,018	371	274	83,3	57,1	99,6
	1,8:3,6	12,11	10,70	3,0	6,0	0,015	341	257	83,3	61,0	99,7
	2,0:4,0	12,05	10,50	2,5	6,0	0,012	334	260	86,1	61,4	99,7
	2,2:4,4	12,10	9,85	2,1	6,0	0,014	308	267	88,3	64,4	99,7
	2,4:4,8	12,00	9,21	1,0	6,0	0,008	288	289	94,4	66,7	99,8

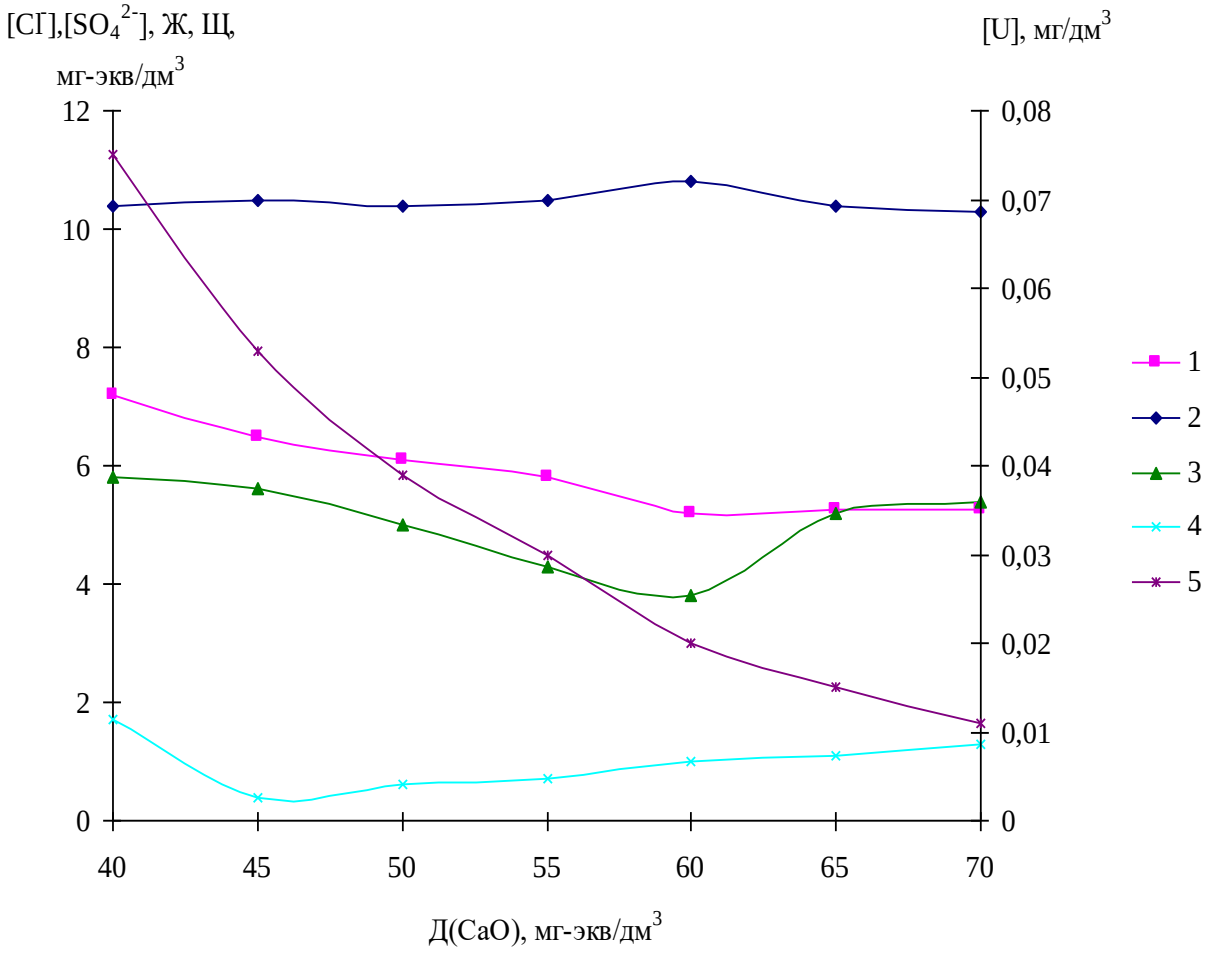


Рис. 5. Влияние расхода извести на остаточные концентрации сульфатов (1), хлоридов (2), остаточную жесткость (3), щелочность (4) и урана (5) сточной воды шахты Ингульская при расходе 2/3 ГОХА 3,2 ммоль/дм3, NaAl(OH)4 1,60 ммоль/дм3

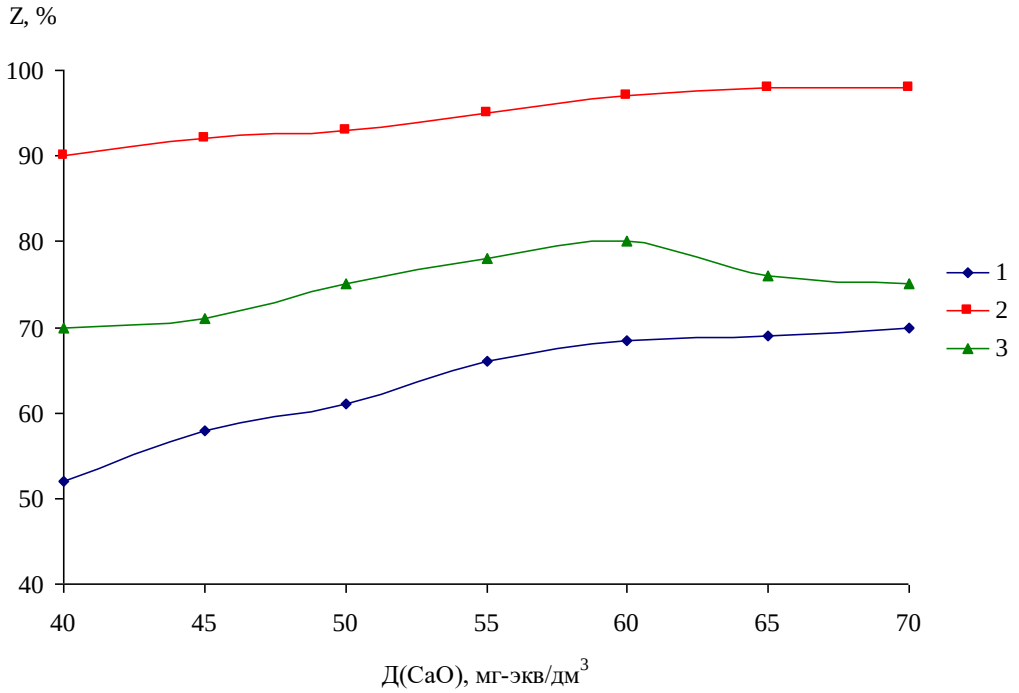


Рис. 6.Зависимость степени очистки сточной воды шахты Ингульская (Ж=18,51 мг-экв/дм^3; [Mg^{2+}]=7,76 мг-экв/дм^3; [Ca^{2+}]= 10,75 мг-экв/дм^3; [Cl^-]=286 мг/дм^3; [U]=0,621 мг/дм^3; $Щ_{общ}$=6,53 мг-экв/дм^3; [SO_4^{2-}]=754,73 мг/дм^3; pH=7,4) от сульфатов (1), урана (2) и степени ее умягчения (3) от расхода извести при расходе 2/3 ГОХА–3,20 ммоль/дм^3 и $NaAl(OH)_4$ 1,60 ммоль/дм^3

В этом случае также достигнуто существенное снижение содержания сульфатов в воде при удовлетворительном ее умягчении при обработке известью и алюминиевыми коагулянтами. Эффективность очистки воды от урана также была достаточно высокой.

Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований показано, что использование алюминиевых коагулянтов и извести в количествах достаточных для связывания сульфатов в сульфогидроксоалюминат кальция обеспечивает снижение содержания сульфатов до 200–400 мг/дм^3 при снижении содержания урана до концентраций менее предельно допустимых в поверхностных водоемах.

Список литературы

1. Матлак Е.С. Снижение загрязнения шахтных вод в подземных условиях // Е.С. Матлак, В.Б. Малеев – Киев: Техника, 1991. – 134 с.
2. Монгайт И.Л. Очистка шахтных вод // И.Л. Монгайт. - М.: Недра, 1978. – 455 с.
3. Омельчук Ю.А. Очистка шахтных вод от урана коагуляцией / Ю.А. Омельчук, Е.В. Рудковская, Н.Д. Гомеля // Энерготехнологии и ресурсосбережение: науч.–техн. журн. – 2011. – № 5. – С. 36–40.
4. Шаблий Т.А. Очистка минерализованных сточных вод от сульфатов и их умягчение / Т.А. Шаблий, В.В. Рысухин, Н.Д. Гомеля // Вісник національного технічного університету «ХПІ». – 2011. – № 43. – С. 31–38.
5. Рысухин В.В. Переработка концентратов, образующихся при нанофильтрационной очистке вод с повышенной минерализацией / В.В. Рысухин // Восточно-европейский журнал передовых технологий.– 2011. – № 5/3 (53). – С. 51–55.
6. Рысухин В.В. Извлечение сульфатов из концентратов, образующихся при нанофильтрационной деминерализации воды / В.В. Рысухин, Т.А. Шаблий, В.С. Камаев, Н.Д. Гомеля // Экология и промышленность. – 2011. – № 4. – С. 83–88.
7. Рисухін В.В. Очищення від сульфатів вод з підвищеною мінералізацією та жорсткістю / В.В. Рисухін, Т.О. Шаблій, В.С. Камаєв, М.Д. Гомеля // Екологічна безпека. – 2011. – № 2. – С. 70–75.

References

1. Matlak E.S., Maleev V.B. *Snizhenie zagryazneniya shakht-nykh vod v podzemnykh usloviyakh* [Reducing pollution of mine waters in underground conditions], Kiev: Tekhnika, 1991. pp. 134.
2. Mongajt I.L. *Ochistka shakhtnykh vod* [Mine water treatment], Moskow: Nedra, 1978, 455 p.
3. Omel'chuk Yu.A., Rudkovskaya E.V., Gomelya N.D. *Ochistka shahtnyh vod ot urana koagulyaciej*

[Purification of mine water from uranium by coagulation], Energotekhnologii i resursosberezhenie: nauch.tekhn. zhurn. 2011, No 5, pp. 36–40.
4. Shablij T.A., Rysukhin V.V., Gomelya N.D. *Ochistka mineralizovannykh stochnykh vod ot sul'fatov i ikh umyagchenie* [Purification of saline waste water from sulfates and their softening], Visnik nacional'nogo tekhnichnogo universitetu «KHPI», 2011, No 43, pp. 31–38.
5. Rysukhin V.V. *Pererabotka koncentratov, obrazuyushchikhsya pri nanofil'tracionnoj ochistke vod s povyshennoj mineralizaciej* [Processing of concentrates formed during nanofiltration purification of waters with increased mineralization], Vostochno-evropejskij zhurnal peredovykh tekhnologij, 2011, No 5/3 (53), pp. 51–55.
6. Rysukhin V.V., Shablij T.A., Kamaev V.S., Gomelya N.D. *Izvlechenie sul'fatov iz koncentratov, obrazyushchikhsya pri nanofil'tracionnoj demineralizacii vody* [Extraction of sulfates from concentrates formed during nanofiltration demineralization of water], Ehkologiya i promyshlennost', 2011, No 4, pp. 83–88.
7. Rysukhin V.V., Shablij T.A., Kamaev V.S., Gomelya N.D. *Ochishchennya vid sul'fativ vod z pidvishchenoyu mineralizacieyu ta zhorstkistyu* [Purification of water sulfates with high mineralization and hardness], Ekologichna bezpeka, 2011, No 2, pp. 70–75.

УДК 579. 222

Исследование начального процесса гумусообразования из листового опада в условиях избыточного увлажнения

И.М. Цымбал, Г.В. Кучерик

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

Статья поступила 18.02.2021 г.; после доработки 19.02.2021 г.

Аннотация

На основании экспериментальных работ рассмотрена динамика выделения углеводов, лигнинов и фенольных соединений из свежего листового опада в условиях избыточного увлажнения. Показано, что процесс выделения определяемых органических веществ по времени экспозиции составляет от 45 до 90 суток.

Ключевые слова: гуминовые вещества, избыточное увлажнение, листовой опад, почва, углеводы.

Investigation of the initial process of humus formation from leaf litter in conditions of excessive moisture

I.M. Tsymbal, G.V.Kucherik

Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st,, Sevastopol, 299053, Russia, Galina_kucherik@mail.ru

Received 18.02.2021 y.; received in final form 19.02.2021 y.

Abstract

On the basis of experimental research the dynamics of carbohydrates, lignins and phenol compounds isolation from deciduous litter in the redundant moistening conditions is considered. Shown that process of defined organic substances extraction makes from 45 to 90 days on exposition time.

Keywords: humic substances, excessive moisture, leaf litter, soil, carbohydrates.

Введение

Проведенные исследования представляют интерес с точки зрения начальных этапов деструкции листового опада, поступления органического вещества и обогащения отдельными питательными элементами верхних горизонтов почвенного покрова парковых зон. Содержание выбранных для исследования динамики выделения веществ в листовом опаде достаточно велико и, по мнению Александровой [1], Беляковой [2, 3], Крупиной [4], Ганжары и Солодовой [5] именно они являются исходным материалом начальных этапов гумусообразования. В процессе деструкции листового опада, большая часть углеводов, которые составляют 40–80 % общего органического вещества растений, расщепляются до подвижных мономеров и принимают участие в образовании гуминоподобных и гуминовых веществ. Доля лигнина в растительных тканях колеблется от 15 до 30 %. Большинство исследователей [1,2,3,4,5] считает, что именно лигнин является основным «гумусообразователем», не только как исходный материал, но еще и потому, что в процессе его деструкции высвобождаются фенольные соединения, которые, в свою очередь, также участвуют в гумусообразовательных процессах.

Известно, что почвы в своем составе содер-

жат органическое вещество, источником которого является, в том числе, листовой опад, который ежегодно поступает в верхние горизонты почвы, где и трансформируется. Объемы листового опада ежегодно могут колебаться от 4 до 7 тонн на 1 га**.** Большая часть почвенных биоценозов для обеспечения своих жизненных потребностей в пище и энергии используют водорастворимые низко- и среднемолекулярные органические вещества, которые поступают в почву непосредственно из листового опада и образуются в процессе деструкции высокомолекуляоных соединений листовой подстилки. Несмотря на незначительное поступление водорастворимых органических веществ, их роль в заселении почвы бактериями, простейшими, грибами и другими живыми организмами, которые, в свою очередь, обеспечивают биохимические процессы трансформации самого органического вещества, велика.

При всех благоприятных условиях процессы разложения органического вещества протекают интенсивно, часть из которых минерализуется до углекислого газа и воды. Некоторая часть поступающего органического вещества, частично потребляется почвенными организмами, а частично конденсируется в сложные гуминоподобные соединения, гораздо менее подверженные различного рода трансформациям. Постепенное преобразование этих веществ и обеспечивает плодородие почв.

Характер и скорость разложения листового опада, скорость гумусообразования, поступающих органических веществ зависит от многих экологических факторов, основными из которых являются степень увлажнения, температурный режим, доступность кислорода воздуха, а также сбалансированность почвенных биоценозов: простейших, микроорганизмов и грибов. Кроме того, на скорость разложения листового опада могут оказывать существенное влияние различные экологические факторы. Так, в среде с дефицитом кислорода или в низкотемпературном режиме, процессы его трансформации замедляются или даже приостанавливаются и органическое вещество листового опада консервируется на определённых стадиях деполимеризации.

Целью данной работы является исследование начального процесса гумусообразования, а именно, изучение выделения органических веществ из листового опада, на примере наиболее широко представленных в нём углеводов, лигнина и фенольных соединений. Задачами исследования были:

- планирование проведения экспериментов и выбор индивидуальных параметров изучения динамики выделения органических веществ;
- определение калибровочных зависимостей между концентрацией определяемых параметров и оптической плотностью;
- отбор проб и определение суммарного содержания индивидуальных органических соединений.

Описание исследования

В качестве объекта для проведения экспериментальных работ по выделению индивидуальных органических веществ, в рамках изучения динамики выделения, был выбран листовой опад деревьев парковой зоны, собранных в конце вегетационного периода и представленный мягко лиственными видами плодовых и дикорастущих деревьев.

Эксперименты по выделению органических веществ из собранного листового опада проводили в условиях избыточного увлажнения, что характерно для осенне-зимнего периода парковых зон, расположенных в регионе с сухим субтропическим климатом. Для создания условий переувлажнения навеску сухих листьев помещали в дистиллированную воду, (соотношение листья: вода, 1:10), как наиболее близкую по гидрохимическим показателям и реакции среды к дождевой воде.

Условия избыточного увлажнения дали возможность контролировать динамику поступления органических веществ в водную среду путем периодического отбора и анализа проб. Кроме анализа проб водной вытяжки суммарное выделение органических веществ определяли по их убыли в листовом опаде по окончании экспериментов, продолжавшихся 150 суток. За весь период наблюдения было отобрано и проанализировано восемь проб водной вытяжки с дискретностью отбора 15 суток.

Для определения суммарного содержания всех выбранных компонентов применяли колориметрические методы, которые предполагают определение оптической плотности растворов, выделенных индивидуальных органических веществ [6]. Оптическую плотность определяли при соответствующих длинах волн с помощью фотоэлектроколориметра КФК-3-01-«ЗОМЗ». Расчет концентраций органических соединений как, в листовом опаде, так и в отбираемых пробах среды производили по калибровочным коэффициентам, рассчитанным по калибровочным кривым для каждого из веществ.

Определение суммарного содержания углеводов в водной вытяжке и листьях производили общепринятым методом, механизм которого заключается в том, что все вещества углеводной природы, вступая в реакцию с L-триптофаном, образуют окрашенные комплексные соединения. Для определения суммарного содержания фенолов использовали их способность образовывать с 4-аминоантипирином окрашенные соединения в присутствии персульфата аммония.

Кроме определения динамики выделения индивидуальных органических соединений, периодически осуществляли контроль за изменением водородного показателя водной вытяжки, по которому можно косвенно сделать предположения о происходящих процессах трансформации органических соединений. Определение водородного показателя (pH среды) производили на pH – метре 150 РИ.

Рассмотрим динамику выделения органических веществ по отдельным классам соединений. На рис. 1 показана динамика выделения углеводов, которая представлена двумя максимумами.

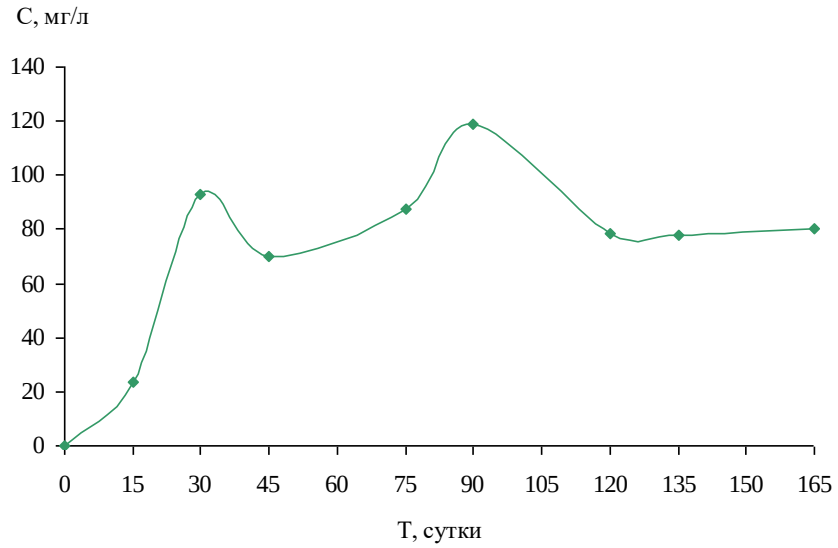


Рис. 1. Динамика выделения углеводов в водную среду

Выделение углеводов, по-видимому, простых низкомолекулярных сахаров, обладающих хорошей растворимостью в воде начинается практически в самом начале эксперимента. Так как уже через 15 суток их концентрация в водной среде составляет 20 мг/л и в течение последующих 15 суток достигает первого максимума, увеличиваясь, почти в пять раз. Некоторое снижение концентрации углеводов на протяжении следующих 30 суток может быть следствием их потребления микроорганизмами или окисления растворенным в воде кислородом. Второй пик выделения углеводов начинает формироваться через 60 суток от начала опытов и максимума достигает на 75 сутки. Второй максимум по сравнению с первым - более выражен и является следствием глубокого разложения растительного материала. Предположительно он образован дополнительно вышедшими в воду высокомолекулярными углеводами типа олигосахаридов и полисахаридов, обладающими меньшей растворимостью в воде. Рассматривая ход изменения содержания углеводов в водной среде, следует отметить наличие в ней постоянного пула углеводов, который поддерживался на уровне 80–100 мг/л.

В целом же за весь период проведенных экспериментов по динамике выделения органических веществ из листового опада было выделено в водную среду около 80 % углеводов от их общего содержания в свежем листовом опаде.

Ход кривой выделения соединений фенольной природы практически соответствует ходу кривой выделения в водную среду углеводов (рис.2).

Это объясняется тем, что среди фенолов природного происхождения, как и среди углеводов идентифицированы как простые низкомолекулярные, легкорастворимые вещества, так и сложные высокомолекулярные соединения. Поэтому процесс их выделения из листового опада соответствует той или иной степени его разложения. Аналогично углеводам на 30 сутки выявлен первый максимум концентрации фенолов в водной вытяжке, который соответствует 40 мг/л.

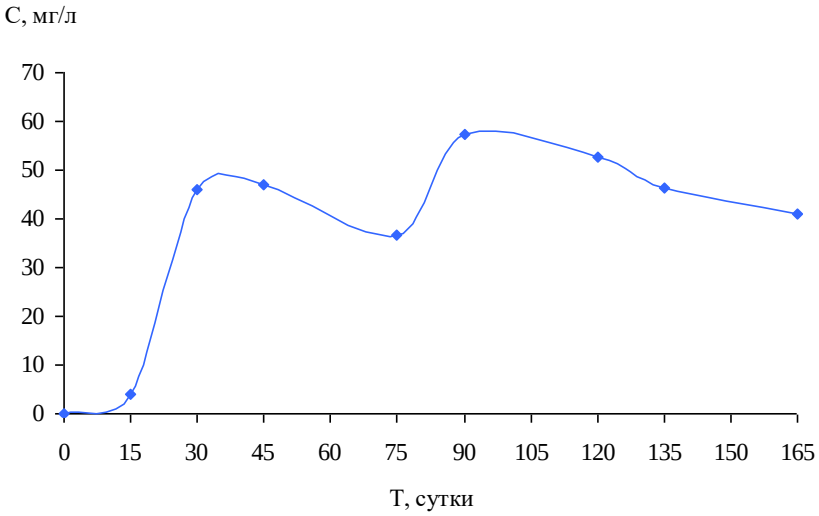


Рис. 2. Динамика выделения фенольных соединений в водную среду

Эта концентрация остается стабильной на протяжении последующих 30 суток и удерживается на уровне 38–45 мг/л. После чего, на 75 сутки наблюдений, следует второй максимум увеличения содержания фенолов, который превышает первый в 1,5 раза. После второго максимума ход кривой динамики выделения фенолов постепенно снижается и остается на уровне значений первого пика. Общее содержание выделившихся в водную среду фенольных соединений составляет около 70% от начального их содержания в свежей листовой подстилке, что несколько ниже, чем количество выделившихся углеводов.

Выделение лигнина существенно отличается от выделения двух других соединений ходом кривой динамики (рис.3). Максимальное поступление его отмечается уже в первой пробе водной вытяжки. По мере продолжения экспериментов концентрация лигнина снижается в 2,5 раза и на протяжении всего периода наблюдений его концентрация продолжает снижаться уже более плавно и к окончанию экспериментов составляет не более 20 % от начального содержания.

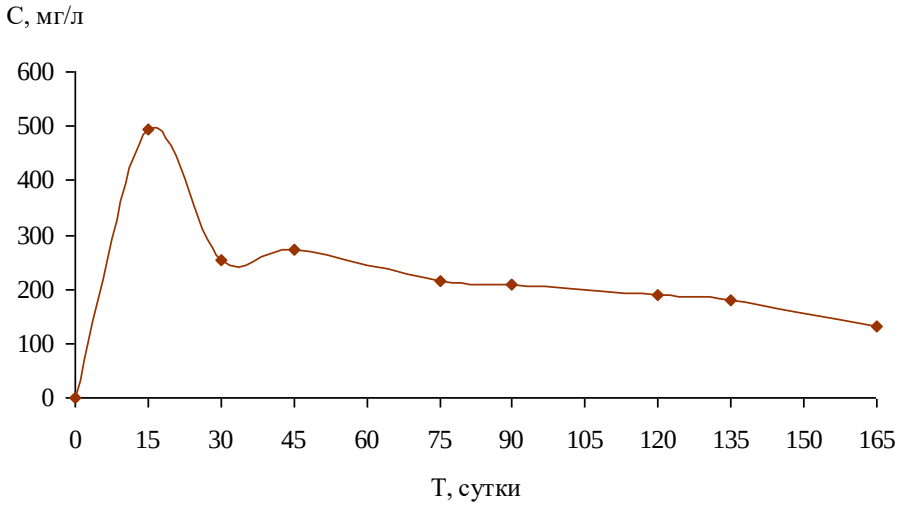


Рис. 3. Динамика выделения лигнинов в водную среду

В ходе проведения экспериментов в условиях избыточного увлажнения свежей листовой подстилки в водную среду все определяемые классы органических веществ выделялись одновременно. Процесс их выделения показан на рис. 4, из которого следует, что наибольшие значения приходятся на углеводы, средняя концентрация которых составляет около 100 мг/л.

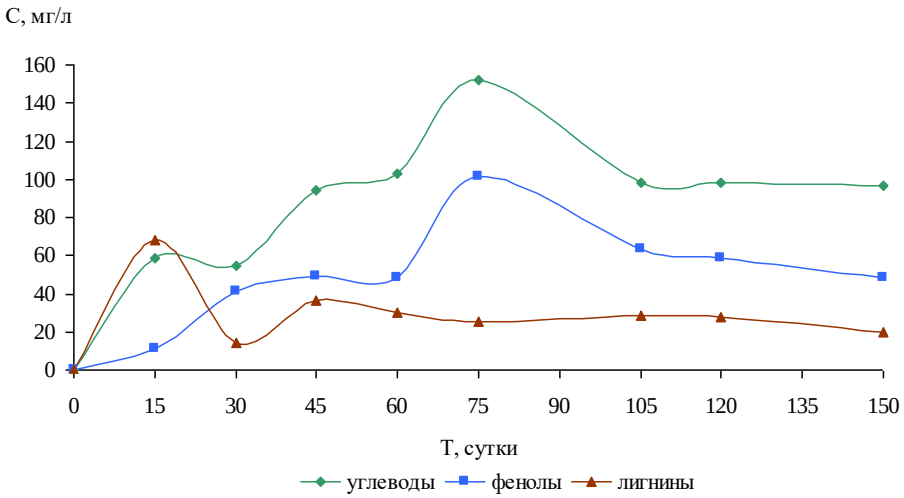


Рис. 4. Динамика выделения определяемых компонентов в водную среду

Среднее содержание фенольных соединений ниже примерно в 2,5 раза по сравнению с углеводами. Содержание лигнинов ниже, чем фенольных соединений и не превышает 25 мг/л. Выделение углеводов и веществ фенольной природы из листового опада представляет собой непрерывный процесс на протяжении 2,5 месяцев от начала эксперимента и достигает максимума через 75 суток. Выделение углеводов и фенолов из листового опада имеет одинаковый тренд с незначительной разницей на первых этапах проведения опытов. Такое сходство в ходе кривых динамики выделения может быть следствием наличия в растительном материале одинаковых по растворимости в воде органических веществ углеводной и фенольной природы. Анализируя характер выделения в водную среду лигнинов, отметим, что уже через 15 дней, то есть в первой отобранной пробе водной вытяжки, была обнаружена максимальная концентрация этого вещества, что существенно отличает динамику его выделения от двух других анализируемых соединений. По мере продолжения экспериментов концентрация лигнинов стабилизировалась уже на уровне 60 суток. При сравнении динамики изменения концентраций лигнинов с фенольными соединениями обращает на себя внимание факт наличия обратной зависимости между их содержанием в водной вытяжке. Аналогичные данные содержатся в результатах исследований других авторов [7,8], которые объясняются тем, что лигнины, деполимеризуясь, служат источником полифенольных соединений. Наиболее заметна эта отрицательная корреляция во временном промежутке 30–75 суток.

Судя по изменению концентрации всех трех классов соединений в водной среде, процесс их выделения из свежего листового опада прекращается уже через 2–2,5 месяца и к 105 суткам их содержание стабилизируется и практически не изменяется. При этом из растительного материала выделилась большая часть определяемых органических веществ, о чем можно судить, сравнивая их начальное и конечное содержание в используемых для экспериментов сухих листьях (рис.5).

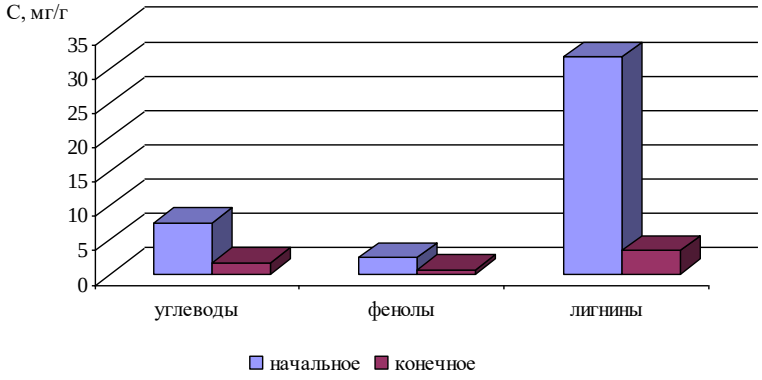


Рис. 5. Начальное и конечное содержание определяемых компонентов в листовом опаде

Деструкция свежей листовой подстилки сопровождалась изменением реакции водной среды (pH среды), которую определяли при каждом отборе проб для определения концентрации органических веществ. Так, в начале экспериментов наблюдалось незначительное подкисление водной вытяжки, что, по мнению Александровой, является следствием абиотического процесса, который происходит в биологически малоактивной среде и характерен для трансформации свежего органического вещества. При этом преобладает деструктивная составляющая и очень слабо выражены процессы биосинтеза, вследствие чего, из продуктов деградации лигнина образуются слабо полимеризованные полифенольные соединения. Эти полифенолы, соединяясь с протеинами, образуют комплексные соединения типа фульвовых и гуминовых кислот. Не исключено, что при определенных изменениях условий (снижение концентрации растворенного кислорода, изменение температурного режима или метаболических процессов в новообразованных биоценозах), отдельные окисленные формы соединений восстанавливаются, вследствие чего реакция среды из кислой переходит в щелочную (восстановленную). Такой переход от кислой до слабо щелочной среды имел место во второй половине проводимых нами исследований, когда значения pH стабилизировались на уровне 8,1– 8,3 единицы.

Заключение

Анализ экспериментальных данных показал:

1. При избыточном увлажнении свежего листового опада в водную среду поступает около 70–80 % содержащихся в нем углеводов, лигнинов и фенольных соединений, которые, являясь источником энергии, могут оказывать положительное влияние на формирование и функционирование почвенных биоценозов.
2. Несмотря на различия хода кривых динамики выделения индивидуальных органических веществ, показано, что их водорастворимая составляющая полностью переходит в водную среду уже через 45–90 суток.
3. На основании хода кривых динамики выделения лигнинов и фенольных соединений прослежена обратная связь между их содержанием, что может свидетельствовать о том, что продукты деструкции лигнинов являются источником веществ фенольной природы.
4. Ежегодное поступление легкодоступных органических веществ обеспечивает повышение плодородия почв, что является необходимым для эффективного озеленения санитарно-защитных зон и территорий промышленных предприятий. Повышение плодородия почв позволяет вести фитомелиоративные работы с использованием пород зеленых насаждений, способных наиболее эффективно изымать загрязняющие вещества из атмосферного воздуха. Это особенно важно для предотвращения негативного влияния выбросов от предприятий, включенных в перечень особо опасных объектов, и в первую очередь – для предприятий топливно-энергетического комплекса.
5. Разложение листового опада является не только результатом его деструкции и выделения лабильных органических веществ в водную среду, но также сопровождается и процессами трансформации выделенных соединений, которые могут быть предметом дальнейших экспериментальных исследований.

Список литературы

1. Александрова Л.Н. Изучение процессов гумификации растительных остатков и природы новообразованных гумусовых кислот // Почвоведение. 1972. – № 7. – С. 37–45.
2. Белякова О.И. Интенсивность разложения растительного опада в дубраве // Структура и функционирование заповедных лесостепных экосистем. – М., 1988. – С. 31–35.
3. Белякова О.И. Интенсивность разложения растительного опада в охраняемых лесных экосистемах // Мониторинг и охрана окружающей среды ЦЧР. – Воронеж, 1989. – С. 65–66.
4. Крупина Г.И. Содержание и состав некоторых водорастворимых органических веществ, образующихся при разложении растительных остатков / Г.И. Крупина // Науч. тр. / Ленингр. СХИ, 1978. – Т.354. – С.27–34.
5. Ганжара Н.Ф., Солодова Т.А. О скорости разложения свежих органических веществ в почвах // Современные процессы почвообразования и их регулирование в условиях интенсивных систем земледелия. – М., 1985. – С. 18–23.
6. Сапожников В.В. Методы гидрохимических исследований основных биогенных элементов. — М.: ВНИРО, 1988. – 119 с.
7. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. – Л.:

Наука, 1980. – 288 с.
8. Тейт Р. Органическое вещество почвы: Биологические и экологические аспекты: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 400 с., ил.

References

1. Aleksandrova L.N. *Izuchenie processov gumifikacii rastitel'nyh ostatkov i prirody novoobrazovannyh gumusovyh kislot* [Study of the processes of humification of plant residues and the nature of newly formed humic acids], Pochvovedenie, 1972, No 7, P. 37–45.
2. Belyakova O.I. *Intensivnost' razlozheniya rastitel'nogo opada v dubrave* [Intensity of decomposition of plant litter in an oak forest], Struktura i funkcionirovanie zapovednyh lesostepnyh eko-sistem, Moscow, 1988, P. 31–35.
3. Belyakova O.I. *Intensivnost' razlozheniya rastitel'nogo opada v ohranyaemyh lesnyh ekosistemah* [Intensity of decomposition of plant litter in protected forest ecosystems], Monitoring i ohrana okruzhayushchej sredy SHI, Voronezh, 1989, P. 65–66.
4. Krupina G.I. *Soderzhanie i sostav nekotoryh vodorastvorimyh organicheskih veshchestv, obrazuyushchihsya pri razlozhenii rastitel'nyh ostatkov* [Content and composition of some water-soluble organic substances formed during the decomposition of plant residues], Nauch. tr., Leningrad SKHI, 1978, Vol. 354, P.27–34.
5. Ganzhara N.F., Solodova T.A. *O skorosti razlozheniya svezhih organicheskih veshchestv v pochvah* [On the rate of decomposition of fresh organic matter in soils], Sovremennye processy pochvoobrazovaniya i ih regulirovanie v usloviyah intensivnyh sistem zemledeliya, Moscow, 1985, P. 18–23.
6. Sapozhnikov V.V. *Metody gidrohimicheskih issledovanij osnovnyh biogennyh elementov* [Methods of hydrochemical research of the main biogenic elements], Moscow, VNIRO, 1988, 119 p.
7. Aleksandrova L.N. *Organicheskoe veshchestvo pochvy i processy ego transformacii* [Soil organic matter and processes of its transformation], Leningrad, Nauka, 1980, 288 p.
8. Tejt R. *Organicheskoe veshchestvo pochvy: Biologicheskie i ekologicheskie aspekty* [Soil organic matter: Biological and ecological aspects], Moscow, Mir, 1991, 400 p.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ В ЖУРНАЛЕ «ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ТЕХНОЛОГИИ»

Журнал входит в национальную библиографическую базу данных РИНЦ.

В журнале публикуются результаты исследований по следующим направлениям:

- тепловые и ядерные энергетические установки;
- электротехнические комплексы и сети;
- нетрадиционные и возобновляемые источники энергии;
- 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.

Принимаются статьи на русском и английском языках.

Статья должна быть структурирована и содержать:

– постановку проблемы, ее связь с актуальными научными или практическими заданиями;
– анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы;
– выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которой посвящается данная статья;
– формулирование целей статьи (постановка задачи);
– изложение основного материала с полным обоснованием полученных научных результатов;
– выводы по данному исследованию и перспективы дальнейших поисков в данном направлении.

К статье должно прилагаться:

– два экземпляра рукописи статьи, выполненной в соответствии с требованиями, первый экземпляр, подписанный всеми авторами;
– оригинал экспертного заключения о возможности опубликования данной работы в открытой печати;
– рецензия, подписанная доктором наук или кандидатом наук;
– информация об авторах статьи (заголовок статьи, фамилия, имя и отчество (полностью), должность, ученая степень, полный почтовый адрес, контактные телефоны и адреса электронной почты);
– компакт-диск с текстовым файлом.

ОФОРМЛЕНИЕ СТАТЬИ

При подготовке статьи в журнал авторы должны руководствоваться стандартом «Оригиналы авторские и текстовые издательские» (ОСТ 29.115—88). К авторским оригиналам, передаваемым для издания, предъявляются следующие требования.

Статья должна содержать:

– шифр УДК; название статьи; инициалы и фамилии авторов;
– место работы каждого автора с полным почтовым адресом;
– аннотацию на русском языке (4-5 строк), отображающую цель проведенных исследований и основные результаты;
– ключевые слова;
– индекс UDC (УДК для англ. блока);
– заглавие (на английском языке);
– фамилии и инициалы авторов (на английском языке);

– место работы каждого автора с полным почтовым адресом (на английском);
– аннотация на английском языке с заголовком «Abstract»;
– ключевые слова (на английском языке, соответствующие русскоязычному набору);
– статья на языке оригинала;
– список литературных источников на русском языке (6-20 ссылок);
– список литературных источников на латинице: тот же список, что и в статье, но с транслитерацией фамилий и слов, записанных по-русски, и с переводом на английский язык неанглоязычных названий источников).

ОПИСАНИЕ МАКЕТА СТАТЬИ

Статья должна представляться также в электронном виде файлом, подготовленном в текстовом процессоре MS Word в режиме разметки страницы. Файл следует сохранять с расширением *. doc(или *.rtf) без макросов.

Имя файла должно начинаться фамилией контактирующего автора на латинице. Основной текст набирается шрифтом «Times New Roman» (11 пт) через интервал с автоматической расстановкой переносов в две колонки с расстоянием между ними 10 мм.

Ширины верхнего поля – 27 мм, нижнего – 23 мм, левого и правого – 18 мм, первый ряд — отступ 0,75 см.

Название статьи – шрифт 16 пт, ФИО – шрифт 14 пт. Сведения об авторах, аннотация, ключевые слова, список литературы – шрифт 10 пт.

Рисунки выполняются в графических редакторах и (или) процессорах (Paint, PhotoShop, CorelDraw и т.п.) в с разрешением 300dip.

Шаблон статьи и требования по ее оформлению приведены на сайте СевГУ: https://www.sevsu.ru/.

Статьи, не удовлетворяющие шаблону и требованиям к оформлению, рассматриваться не будут.

Более детальную информацию можно получить в редакции журнала:

ИЯЭиП, ул. Курчатова, 7. Севастополь, 299015, Российская Федерация. E-mail nauchnyyzhurnal@mail.ru, телефон. +7(8692) 71-01-64.

ISSN 2413-5526

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
«ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ТЕХНОЛОГИИ»
Том 7 № 1

SCIENTIFIC MAGAZINE
«POWER PLANTS AND TECHNOLOGIES»
Vol. 7 No 1

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

Адрес редколлегии:
ИЯЭиП, ул. Курчатова, 7. Севастополь, 299015, Российская Федерация
E-mail nauchnyyzhurnal@mail.ru
тел. +7(8692) 71-01-64.

Редакция не несет ответственности за нарушение авторами исключительных прав на результаты интеллектуальной деятельности третьих лиц. Мнения, высказываемые авторами в публикуемых статьях, не всегда совпадают с мнением редакции. При перепечатке материалов ссылка на научный журнал «Энергетические установки и технологии» обязательна.

Научный журнал «Энергетические установки и технологии» издается в авторской редакции.

Компьютерная верстка: *Е.А. Нестерова.*

Подписано к печати 24.03.2021. Изд. № 1/21. Зак. 9/21. Тираж 65 экз.
Объем 20,5 п.л. Усл. печ. л. 19,06. Уч.-изд. л. 20,09. Формат бумаги 60 х 84 1/8

РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»