

ISSN 2413-5526

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал

Т. 3 № 1

**Севастополь
2017**

Э 651 Энергетические установки и технологии: науч. журнал. – Севастополь: ФГАОУ ВО СевГУ, 2017. – Т. 3. - № 1. – 144 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».

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.

Редакционная коллегия:

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;
Тимошенко 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.

СОДЕРЖАНИЕ

Тепловые и ядерные энергетические установки	7
<i>Дикусар Ю.Г., Сулейменова М.Б., Богушева В.Д., Вольнова А.В.</i> Исследование нелинейных дискретных систем автоматического регулирования методом траекторий состояния	7
<i>Защаринная Т.Г., Чуклин А.А., Аникевич К.П.</i> Повышение надежности противоразгонной защиты паровой турбины К-1000-60/1500-2	12
<i>Качур С.А.</i> Модели гравитационных эффектов пространственно-временных монополей ядерных и естественных реакторов	20
<i>Скрябина Е.В., Моисеев Д.В., Тяпкина В.А.</i> Анализ работы модели вероятностного измерительного контроллера	28
Электротехнические комплексы и системы	35
<i>Гусева Е.В., Ушакова К.Л.</i> Модернизация частотной делительной автоматики Симферопольской ТЭЦ	35
<i>Канов Л. Н.</i> Стабилизация режимов ветроэлектрических станций на асинхронных генераторах	40
Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии	47
<i>Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Смирнова Д. Д.</i> Прозрачные защитные покрытия для комбинированных солнечных установок	47
<i>Кузнецов П.Н, Авдеев Д.С., Леметр Р.Ш , Егорушин В.О.</i> Разработка инвертора синусоидального напряжения с автоматической синхронизацией с сетью для фотоэлектрической установки	51
<i>Малюк Е.Г.</i> Реактивная мощность и особенности компенсации реактивной мощности в сетях жилищно–коммунального сектора	57
<i>Сафонов В.А., Восканян А.А., Киреева Н.В.</i> Исследования работы трехрядной солнечной электростанции	63
Экологическая безопасность	73
<i>Климова Ю.Ю., Косовская М.А</i> Обоснование проведения паспортизации оползней прибрежной зоны Севастополя	73
<i>Косовская М.А, Хренова Т.К, Бибикова В.В</i> Анализ активности пероксидазы и каталазы древесных насаждений в условиях локального воздействия эксгалатов	83
<i>Пономаренко П.А., Фролова М.А, Гольшева И. И</i> Радиационная обстановка на массиве реактора «ИР-100» при обезвреживании активной зоны	95
<i>Щекатурина Т.Л., Рукина А.Ю.</i> Динамика мезозoopланктона в Севастопольской бухте за последние 30 лет	100
Химические технологии атомных станций	107
<i>Ерофеев В.А., Ворник О.В., Ведищева О.В., Культенко Э.А</i> Выбор оптимальной схемы технологического процесса очистки жидких радиоактивных отходов сложного состава лигниновыми сорбентами	107

<i>Истомин В.И., Тверская С.Е., Хлебникова В.В.</i> Совершенствование функциональных свойств судовых систем очистки нефтесодержащих вод	118
<i>Крютченко А.В., Пономаренко П.А., Фролова М.А.</i> К вопросу о физических и математических моделях активации азота в I контуре водо-водяного энергетического реактора	122
<i>Матюхина П.В., Пономаренко П.А., Фролова М.А.</i> К вопросу разработки физических и математических моделей трансформации природного изотопного состава К в активной зоне водо-водяного энергетического реактора	126
<i>Миронов О.Г., Миронов О.А., Муравьева И.П., Острцова А.И.</i> Углеводородно-липидный состав макрофитов в прибрежной акватории Севастополя	130
<i>Черкашина Н.И., Ерофеев В.А.</i> Физико-химический метод модифицирования сорбционных материалов на основе лигнина	136

CONTENTS

Thermal and nuclear power plant	7
<i>Dikusar, Yu. G., Suleimenova, M. B., Bogucheva V. D., Volnova A. V.</i> Research of the non-linear discrete systems of automatic control by the method of trajectories of the state	7
<i>Zatsarinnaya T. G., Chuklin A. A., Anikevich K. P.</i> Reliability Growth of Overspeed Protection System for Steam-turbine K-1000-60/1500-2	12
<i>Kachur S. A.</i> Models of gravitation effects of spatio-temporal monopoles of nuclear and natural reactors	20
<i>Skryabina E. V., Moiseev D. V., Tyapkina V. A.</i> Analysis of the model of the probability of measuring game-controller	28
Electrotechnical complexes and systems	35
<i>Guseva E. V., Ushakova, K. L.</i> Modernization of frequency separating automation of Simferopol combined heat and power	35
<i>Kanov, L. N.</i> Stabilization of the Regime of Windelectrical Settings by Asynchronous Generators	40
Alternative and renewable energy sources	47
<i>Kuvshinov V. V., Kakyshina E. G., Smirnova D. D.</i> Using thermophotovoltaic plants for heat and electricity to Sevastopol	47
<i>Kuznetsov P. N., Avdeev, D. S., Lemetr, R. S., Egorushin V. O.</i> The development of inverter with sinusoidal output voltage with automatic synchronization with the network for photovoltaic installation	51
<i>Malyuk E. G.</i> Reactive power and the special features of its compensation in the networks of housing and utilities sector	57
<i>Safonov V. A., Voskanyan A. A., Kireyeva N. V.</i> Studies of three-row solar power plant	63
Environmental safety	73
<i>Klimova Yu. Yu., Kosovskaya M.A.</i> Justification of carrying out certification of landslides coastal zone of Sevastopol	73
<i>Kosovskaya M. A., Hrenova, T. K, Bibikova V. V.</i> Analysis of the activity of the peroxide-catalase Daz and wood nasazhdenii in terms of local impact exhalative	83
<i>Ponomarenko P. A., Frolova M. A., Golisheva I.I.</i> The radiation situation at the reactor array «IR-100» in the dewatering of at active zone	95
<i>Schekaturina T. L., Rukina, A. J.</i> Dynamics of mesozooplankton in Sevastopol Bay for last 30 years	100
Chemical technology of nuclear power plants	107
<i>Erofeev V. A., Wornik O. V., Vedischeva O. V, Kulenko E.A.</i> Studying of the Mechanism of Processes of a Sorption of Radionuclides on Ion-exchange Lignin Sorbents	107

<i>Istomin V. I., Tverskaya S. E., Hlebnikova V. V.</i> Improving functional properties of ship systems for purifying oil-contain waters	118
<i>Kryutchenko, A. V., Ponamorenko, P. A., Frolova M. A.</i> It is to the Question About Physical and Mathematical Models of the Activation of Nitrogen in the First Circuit of the Water Power Reactor	122
<i>Matyuhina P. V., Ponamorenko P. A., Frolova M. A.</i> It is to the Question About Physical and Mathematical Models of Transformation of Natural Isotopia Composition K in the Active Zone of Water Power Reactor	126
<i>Mironov O. G., Mironov O. A., Muraviev I. P., Ostretsov A. I.</i> Hydrocarbon-lipid composition of macrophytes in the coastal waters of sevastopol	130
<i>Cherkashina N. I., Erofeev V. A.</i> Chemical-technological process of obtaining a sorbent based on natural material	136

ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

УДК 62-50(07)

Исследование нелинейных дискретных систем автоматического регулирования методом траекторий состояния

Ю.Г. Дикусар¹, М.Б. Сулейменова², В.Д. Богушева³, А.В. Вольнова⁴

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33,
г. Севастополь, 299053, Россия. ¹dikusar@list.ru, ²miroslava13_03@mail.ru, ³bloodrain224@mail.ru,
⁴ms.nastya.volnova@mail.ru

Статья поступила 27.02.2017 г.; после доработки 28.02. 2017 г.

Аннотация

В статье выполнен анализ нелинейностей в дискретных системах автоматического регулирования. Рассмотрен метод дискретных траекторий состояния. Выполнены построение и анализ дискретных траекторий состояния нелинейной дискретной системы автоматического регулирования на фазовой плоскости.

Ключевые слова: нелинейная дискретная система автоматического регулирования, дискретная передаточная функция, разностное уравнение, фазовая плоскость, дискретные траектории состояния.

Research of the non-linear discrete systems of automatic control by the method of trajectories of the state

Ju.G. Dikusar¹, M.B. Suleimenova², V.D. Bogusheva³, A.V. Volnova⁴

Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia,
¹dikusar@list.ru, ²miroslava13_03@mail.ru, ³bloodrain224@mail.ru
⁴ms.nastya.volnova@mail.ru

Received 27.02.2017 y.; received in final form 28.02.2017 y.

Abstract

In article the analysis of non-linearities in discrete systems of automatic control is made. The method of discrete trajectories of a state is considered. Construction and the analysis of discrete trajectories of a condition of non-linear discrete system of automatic control on the phase plane are executed.

Keywords: non-linear discrete system of automatic control, discrete transfer function, differential equation, phase plane, discrete trajectories of a state.

Введение

Для современной техники управления производственными процессами в промышленности и в энергетике характерно широкое применение цифровых вычислительных устройств в целях сбора, обработки, хранения, представления информации и непосредственного управления технологическими объектами. Большинство

цифровых (дискретных) систем автоматического регулирования (САР) содержат в своем составе нелинейные элементы.

Особенности нелинейных дискретных САР, многообразие процессов в них создают трудности точного их математического описания и теоретического изучения [1, 2].

Это обуславливает использование специальных математических методов для анализа и

синтеза таких систем.

Одним из методов изучения динамических процессов нелинейных САР является метод траекторий состояния (фазовых траекторий) [1, 2]. Это наглядный геометрический метод исследования систем второго порядка. Фазовый портрет дает возможность получить ряд существенных сведений о динамике исследуемой системы.

Структура фазового портрета четко определяет области начальных отклонений, при которых система обладает разными свойствами в смысле устойчивости.

Это обуславливает актуальность задачи использования метода траекторий состояния для анализа динамики нелинейных дискретных САР, описываемых нелинейными разностными уравнениями.

Постановка цели научной работы

Задачей исследования является метод дискретных траекторий состояния и его применение для построения фазовых траекторий нелинейной дискретной САР. Использование метода основано на определении дискретной передаточной функции линейной части системы и составлении разностного уравнения системы.

Анализ нелинейностей в дискретных системах автоматического регулирования

В дискретных системах автоматического регулирования нелинейности могут содержать либо непрерывная часть (например, объект регулирования), либо дискретная часть системы (импульсный элемент), либо обе части одновременно.

Нелинейность дискретной части системы зависит от вида дискретизации и модуляции сигналов.

Для импульсных систем автоматического регулирования, в которых осуществляется только дискретизация сигналов по времени, нелинейность системы определяется видом модуляции, которая происходит в импульсном элементе. Система является линейной только при амплитудно-импульсной модуляции. Для всех других видов модуляции свойства линейности не сохраняются.

Релейная система автоматического регулирования, в которой происходит дискретизация сигналов по уровню, является принципиально нелинейной.

Цифровую систему автоматического регулирования, в которой осуществляется одновременно дискретизация и по времени и по уровню, при строгом подходе необходимо считать нелинейной из-за дискретизации по уровню. Поэтому для такой системы возможна неустойчивость «в малом» с установлением автоколебаний, амплитуда которых определяется зоной нечувствительности системы, равной шагу дискретизации.

Однако, поскольку шаг дискретизации в цифровых САР мал, возможная амплитуда таких автоколебаний также достаточно мала. При малом периоде дискретности и большой разрядностью цифровой машины, такой нелинейностью, связанной с дискретизацией сигнала по уровню, можно либо полностью пренебречь, либо влияние ее представить с помощью внешней помехи.

Наибольшее распространение получили следующие виды нелинейных дискретных систем:

- системы, в которых нелинейным является импульсный элемент с широтно-импульсной модуляцией, а непрерывная часть является линейной;
- системы, у которых непрерывная часть является нелинейной (например, если в ней имеется элемент насыщения, с помощью которого ограничиваются величины управляющего воздействия).

Структурная схема системы автоматического регулирования, в которой используется цифровая вычислительная машина (ЦВМ) и имеется ограничение на величину управляющего воздействия с помощью нелинейного элемента (НЭ), изображена на рис. 1.

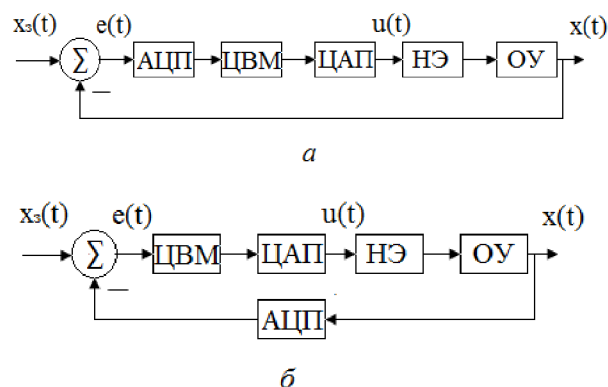


Рис. 1. Цифровая (дискретная) система автоматического регулирования

а – с формированием сигнала ошибки в непрерывной форме; б – с формированием сигнала ошибки в цифровой форме

В первом варианте схемы (рис. 1,а) сравнение задающего воздействия $X_3(t)$ с регулируемым параметром $X(t)$ производится в непрерывной форме, после чего происходит формирование сигнала ошибки $e(t) = X_3(t) - X(t)$ и его преобразование в цифровую форму в аналого-цифровом преобразователе (АЦП), обработка цифрового сигнала в процессоре ЦВМ, затем преобразование цифрового сигнала в аналоговую форму в цифро-аналоговом преобразователе (ЦАП) и осуществляется управление объектом (ОУ) регулирующим воздействием $U(t)$. Если не учитывать нелинейный эффект дискретизации по уровню (при большой разрядности АЦП), то нелинейностью будет обладать только непрерывная часть.

Во втором варианте (рис. 1,б) сравнение задающего воздействия $X_3(t)$ с регулируемым параметром $X(t)$ производится в цифровой форме, для чего АЦП расположен в цепи обратной связи. По такой схеме, например, работают системы управления станками с числовым программным управлением.

Метод дискретных траекторий состояния

Процессы в нелинейных системах и собственные их движения гораздо разнообразнее и сложнее процессов и движений в линейных системах. Более того, в нелинейных системах появляются режимы, невозможные в линейных системах. Это определяют особые свойства нелинейных систем автоматического регулирования:

- к нелинейным САР не применим принцип суперпозиции и свойство коммутативности;
- в нелинейных САР характер собственных движений зависит от начальных условий, одна и та же система при различных начальных условиях может совершать различные по своему характеру движения;
- в нелинейных САР возможны без внешних возмущений устойчивые колебания параметров определенной амплитуды и частоты – автоколебания.

Указанные особенности нелинейных САР, многообразие процессов в них создают трудности точного их математического описания и теоретического изучения, решения задач анализа и синтеза.

Для изучения процессов движения нелинейных дискретных САР может быть использован метод дискретных траекторий состояния

(фазовых траекторий). Это наглядный геометрический метод исследования систем второго порядка. Фазовый портрет дает возможность получить ряд существенных сведений о динамике исследуемой системы. Структура фазового портрета четко определяет области начальных отклонений, при которых система обладает разными свойствами в смысле устойчивости.

Рассмотрим дискретную систему второго порядка, которая описывается двумя скалярными в общем случае нелинейными разностными уравнениями

$$\begin{cases} X_1(i+1) = F_1[X_1(i), X_2(i)]; \\ X_2(i+1) = F_2[X_1(i), X_2(i)]. \end{cases}$$

X_1 и X_2 - координаты изображающей точки на разностной (дискретной) фазовой плоскости. Изображающая точка определяет состояние или фазу системы. Траектория состояния (фазовая траектория) – это траектория изображающей точки при движении системы, построенная для определенных начальных условий. Совокупность (семейство) фазовых траекторий для всех возможных начальных условий или некоторой части их, представляющей интерес для исследования системы, называется фазовым портретом. Фазовые траектории и фазовый портрет представляют собой геометрический образ динамических процессов, протекающих в системе. В этом геометрическом представлении участвуют координаты и исключено время.

Особыми на разностной фазовой плоскости называются точки $[X_1(i), X_2(i)]$, в которых одновременно выполняются условия

$$F_1[X_1(i), X_2(i)] = 0; F_2[X_1(i), X_2(i)] = 0,$$

они соответствуют положениям равновесия. В линейных системах имеется одна особая точка. Изучение траекторий состояния позволяет без решения разностных уравнений оценивать поведение исследуемых нелинейных дискретных систем во всем пространстве состояний. Для построения дискретных траекторий состояния необходимо на основе нелинейных разностных уравнений

$$\begin{cases} X(i+1) = F_1[X_1(i), X_2(i)]; \\ X(i+2) = F_2[X_1(i), X_2(i)] \end{cases}$$

по заданной начальной точке $[X_1(0), X_2(0)]$ аналитически рассчитать последующие точки

$$[X_1(1), X_2(1)];$$

$$[X_1(2), X_2(2)];$$

$$[X_1(n), X_2(n)].$$

Построение дискретных траекторий состояния нелинейной дискретной системы автоматического регулирования

Рассмотрим построение дискретных траекторий состояния на разностной фазовой плоскости $[X_1(i), X_2(i)]$ для нелинейной дискретной системы автоматического регулирования, структурная схема которой изображена на рис. 2.

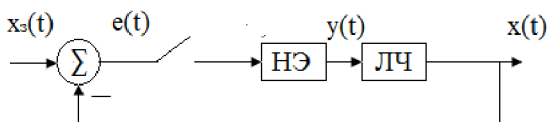


Рис. 2. Структурная схема нелинейной дискретной системы автоматического регулирования

Зададимся исходными данными:

- передаточная функция линейной непрерывной части $W(S) = \frac{1}{S^2}$;
- статическая характеристика нелинейного элемента представлена на рис. 3;
- начальные условия $X(0) = -2, X(0) = 4, \Delta X(0) = 0$.

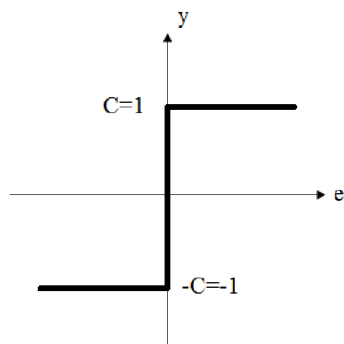


Рис. 3. Статическая характеристика нелинейного элемента

Примем входное воздействие системы равным нулю $X_3(t) = 0$ и преобразуем структурную схему САР к виду, представленному на рис. 4.

С помощью таблицы Z-преобразования определим дискретную передаточную функцию линейной части системы

$$W(Z) = \frac{X(Z)}{Y(Z)} = Z \left\{ \frac{1}{S^2} \right\} = \frac{Z}{(Z-1)^2} = \frac{Z}{Z^2 - 2Z + 1}.$$

Получим разностное уравнение системы в нормальной форме

$$X(Z)(Z^2 - 2Z + 1) = Y(Z)Z;$$

$$X(i+2) - 2X(i+1) + X(i) = Y(i+1) = C.$$

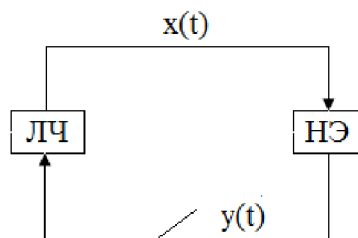


Рис. 4. Преобразованная структурная схема нелинейной дискретной системы автоматического регулирования

Так как в соответствии со структурной схемой (рис. 2), при $X_3(t) = 0$ $e(t) = -X(t)$, то на основании статической характеристики нелинейного элемента (рис. 3) при $X(i+1) < 0$ $C = 1$, а при $X(i+1) > 0$ $C = -1$.

Введем обозначения $X(i) = X_1(i)$; $X(i+1) = X_2(i)$, тогда разностное уравнение системы примет вид

$$X_2(i+1) = -X_1(i) + 2X_2(i) \pm 1.$$

Определим начальные условия для $X_1(i), X_2(i)$

$$X_1(0) = -2; \Delta X_1(i) = X_1(i+1) - X_1(i) = X_2(i) - X_1(i) = 0,$$

поэтому $X_2(0) = X_1(0) = -2$.

Определяем координаты дискретной траектории состояния

$$\begin{aligned} i=0; & X_1(1) = X_2(0) = -2; X_2(1) = -X_1(0) + 2X_2(0) + 1 = \\ & = 2 + 2 \cdot (-2) + 1 = -1; \\ i=1; & X_1(2) = X_2(1) = -1; X_2(2) = -X_1(1) + 2X_2(1) + 1 = \\ & = 2 + 2 \cdot (-1) + 1 = 1; \\ i=2; & X_1(3) = X_2(2) = 1; X_2(3) = -X_1(2) + 2X_2(2) - 1 = \\ & = 1 + 2 \cdot 1 - 1 = 2; \\ i=3; & X_1(4) = X_2(3) = 2; X_2(4) = -X_1(3) + 2X_2(3) - 1 = \\ & = -1 + 2 \cdot 2 - 1 = 2; \\ i=4; & X_1(5) = X_2(4) = 2; X_2(5) = -X_1(4) + 2X_2(4) - 1 = \\ & = -2 + 2 \cdot 2 - 1 = 1; \\ i=5; & X_1(6) = X_2(5) = 1; X_2(6) = -X_1(5) + 2X_2(5) - 1 = \\ & = -2 + 2 \cdot 1 - 1 = -1; \\ i=6; & X_1(7) = X_2(6) = -1; X_2(7) = -X_1(6) + 2X_2(6) + 1 = \\ & = -1 + 2 \cdot (-1) + 1 = -2; \\ i=7; & X_1(8) = X_2(7) = -2; X_2(8) = -X_1(7) + 2X_2(7) + 1 = \\ & = 1 + 2 \cdot (-2) + 1 = -2. \end{aligned}$$

Для $X_2(0) = X_1(0) = 4$ координаты дискретной траектории состояния

$$\begin{aligned} i=0; & X_1(1) = X_2(0) = 4; X_2(1) = -X_1(0) + 2X_2(0) - 1 = \\ & = -4 + 2 \cdot 4 - 1 = 3; \\ i=1; & X_1(2) = X_2(1) = 3; X_2(2) = -X_1(1) + 2X_2(1) - 1 = \\ & = -4 + 2 \cdot 3 - 1 = 1; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 i=2; X_1(3) &= X_2(2) = 1; X_2(3) = -X_1(2) + 2X_2(2) - 1 = \\
 &= -3 + 2 \cdot 1 - 1 = -2; \\
 i=3; X_1(4) &= X_2(3) = -2; X_2(4) = -X_1(3) + 2X_2(3) + 1 = \\
 &= -1 + 2 \cdot (-2) + 1 = -4; \\
 i=4; X_1(5) &= X_2(4) = -4; X_2(5) = -X_1(4) + 2X_2(4) + 1 = \\
 &= 2 + 2 \cdot (-4) + 1 = -5; \\
 i=5; X_1(6) &= X_2(5) = -5; X_2(6) = -X_1(5) + 2X_2(5) + 1 = \\
 &= 4 + 2 \cdot (-5) + 1 = -5; \\
 i=6; X_1(7) &= X_2(6) = -5; X_2(7) = -X_1(6) + 2X_2(6) + 1 = \\
 &= 5 + 2 \cdot (-5) + 1 = -4; \\
 i=7; X_1(8) &= X_2(7) = -4; X_2(8) = -X_1(7) + 2X_2(7) + 1 = \\
 &= 5 + 2 \cdot (-4) + 1 = -2; \\
 i=8; X_1(9) &= X_2(8) = -2; X_2(9) = -X_1(8) + 2X_2(8) + 1 = \\
 &= 4 + 2 \cdot (-2) + 1 = 1; \\
 i=9; X_1(10) &= X_2(9) = 1; X_2(10) = -X_1(9) + 2X_2(9) - 1 = \\
 &= 2 + 2 \cdot 1 - 1 = 3; \\
 i=10; X_1(11) &= X_2(10) = 3; X_2(11) = -X_1(10) + 2X_2(10) - 1 = \\
 &= -1 + 2 \cdot 3 - 1 = 4; \\
 i=11; X_1(12) &= X_2(11) = 4; X_2(12) = -X_1(11) + 2X_2(11) - 1 = \\
 &= -3 + 2 \cdot 4 - 1 = 4.
 \end{aligned}$$

Дискретные траектории состояния нелинейной дискретной САР для начальных условий $X_2(0) = X_1(0) = -2$ и $X_2(0) = X_1(0) = 4$ показаны на рис. 5.

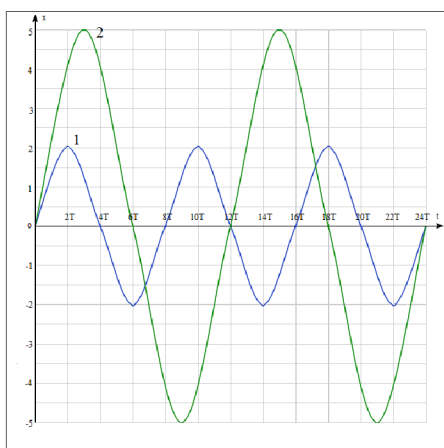


Рис. 5. Дискретные траектории состояния нелинейной дискретной системы автоматического регулирования

Построенные траектории состояния являются замкнутыми линиями (рис. 5). Это означает, что для заданных начальных условий в системе совершаются периодические движения (автоколебания) с периодом $8T$ и $12T$. При других начальных условиях также будут совершаться периодические движения, то есть положение равновесия системы является неустойчивым. Графики переходных процессов нелинейной дискретной системы автоматического регулирования, соответствующие построенным дискретным траекториям состояния (рис. 5), при выбранных начальных условиях показаны на рис. 6.

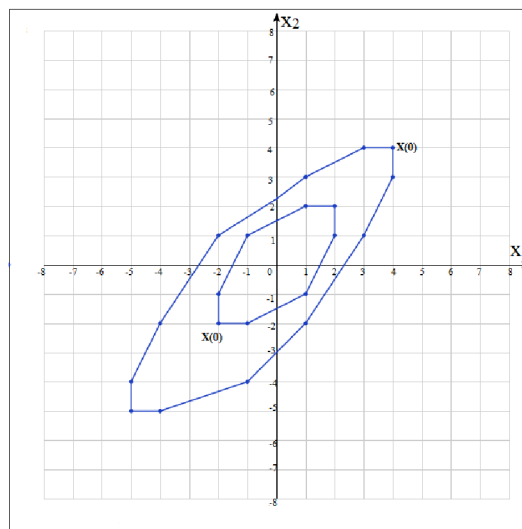


Рис. 6. Графики переходных процессов нелинейной дискретной системы автоматического регулирования при выбранных начальных условиях

Заключение

В процессе проведения исследования было выполнено:

- 1) анализ нелинейностей в дискретной системе автоматического регулирования;
- 2) рассмотрен метод дискретных траекторий состояния, основанный на нелинейных разностных уравнениях системы; на основе определения дискретной передаточной функции линейной части системы и составлении разностного уравнения системы построены и проанализированы дискретные траектории состояния нелинейной дискретной
- 3) САР на фазовой плоскости и соответствующие графики переходных процессов системы.

Список литературы

1. Юревич Е.И. теория автоматического управления/Е.И.Юревич. - СПб.: БХВ-петербург, 2007. - 560 с.
2. Суевалов Л.Ф. Справочник по расчетам судовых автоматических систем. - 2-е изд. - Л.: Судостроение, 1989. - 408 с.: ил.

References

1. Yurevich E. I. Theory of automatic control. - 3rd prod. - Spb.: BHV - St. Petersburg, 2007. - 560 p.: ill.
2. Suyevalov L.F. Reference book on calculation of ship automatic systems. - 2nd prod. - L.: Shipbuilding, 1989. - 408 p.: ill.

УДК 621.165

Повышение надежности противоразгонной защиты паровой турбины К-1000-60/1500-2

Т.Г. Зацаринная¹, А.А. Чуклин², К.П. Аникевич³^{1,2,3}ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, ¹biochip@mail.ru, ²chuklin53@mail.ru, ³anikonst@mail.ru

Статья поступила 17.01.2017 г.; после доработки 19.01.2017 г.

Аннотация

Дана краткая характеристика автоматической системы регулирования (АСР) турбины с электронным регулятором скорости (ЭРС), обладающей повышенной надежностью в сравнении с комбинированными схемами АСР. Приведена математическая модель АСР с ЭРС. Выполнен анализ принципиальной схемы механической системы защиты. Определены основные направления модернизации автоматической системы защиты турбины К-1000-60/1500-2, позволяющие повысить ее надежность.

Ключевые слова: частота, крутящий момент, генератор, энергосистема, электрическая нагрузка, атомная электростанция, система регулирования, турбина, регулирующий клапан, сервомотор, электронный регулятор скорости, противоразгонная защита, электронный автомат безопасности, надежность.

Reliability Growth of Overspeed Protection System for Steam-turbine K-1000-60/1500-2

T.G. Zatsarinnaya¹, A.A. Chuklin², K.P. Anikevich³^{1,2,3}Sevastopol State University, 33 Universitetskaya str., Sevastopol, 299053, Russia. ¹biochip@mail.ru, ²chuklin53@mail.ru, ³anikonst@mail.ru

Received 17.01.2017 y.; received in final form 19.01.2017 y.

Abstract

The brief characteristic of turbine automatic control system equipped with electronic speed regulator (ESR) is given. Above mentioned control system is more reliable comparatively with mixed-signal technology of automatic control system. Mathematical modeling for ACS with ESR is made. The functional diagram of mechanical overspeed protection system is analyzed. The main ways for modernization of automatic protection system for turbine K-1000-60/1500-2 are defined. The goal such modernization is reliability growth.

Keywords: frequency, torsion torque, generator, power grid, electric energy demand, nuclear power plant, control system, turbine, actuator valve, servomotor, electronic speed regulator, overspeed protection system, electronic overspeed governor, reliability.

Введение

Надежность АЭС характеризует способность выполнения ею основной задачи — снабжения потребителей электроэнергией.

Система автоматического регулирования (АСР) турбины должна:

- устойчиво выдерживать заданные электрическую и тепловую нагрузки и обеспечивать возможность их плавного изменения;

- устойчиво поддерживать частоту вращения ротора турбины на холостом ходу и плавно ее изменять (в пределах рабочего диапазона механизма управления турбиной) при номинальных и пусковых параметрах пара;
- удерживать частоту вращения ротора турбины ниже уровня настройки срабатывания автомата безопасности при мгновенном сбросе до нуля электрической нагрузки (в

том числе при отключении генератора от сети), соответствующей максимальному расходу пара при номинальных его параметрах и максимальных пропусках пара в часть низкого давления турбины.

Предлагаемая в настоящей статье модернизация САР турбоустановки направлена на повышение надежности и безопасности паротурбинной установки и АЭС в целом.

Постановка задачи и анализ исследований.

Основная функция генератора, работающего в паре с турбиной (турбогенератора), заключается в преобразовании механической энергии вращения паровой турбины в электрическую.

При прохождении пара через турбину на валу ее ротора возникает крутящий момент M_T . Если расход пара G через турбину остается постоянным, то с ростом частоты вращения турбины n крутящий момент, развива-

емый ею, будет уменьшаться, как показано на рис. 1 [1].

Уменьшение же расхода пара на турбину до величины G' сместит характеристику $M'_T(n)$ на графике вниз.

Электрический генератор турбоагрегата также имеет характеристику момента, представляющую собой связь крутящего момента M_G , развиваемого электромагнитными силами, с частотой вращения n при постоянной нагрузке (мощности) N_{Σ} питаемой от него электрической сети (рис. 1).

Затем через некоторый промежуток времени электрическая нагрузка генератора уменьшится до значения N'_{Σ} , например, из-за отключения потребителей электрической энергии, то характеристика момента генератора снизится и, поскольку изменений в расходе пара через турбину не произошло, рабочая точка переместится из точки a в точку b и турбогенератор приобретет частоту вращения $n' > n$.

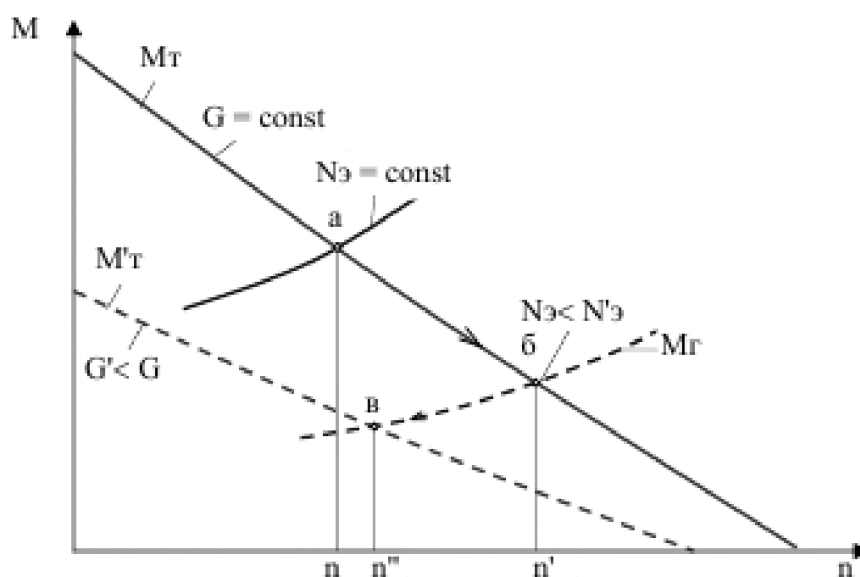


Рис. 1. Характеристики крутящих моментов турбины и генератора.

Поскольку частота в энергосистеме пропорциональна частоте вращения турбин, вращающих генераторы: $f = \omega \frac{p}{2\pi}$ (где ω — угловая скорость турбины, рад/с; p — число пар полюсов генератора), то требуется достаточно точное поддержание частоты вращения турбин, что возможно осуществить лишь с помощью автоматической системой регулирования турбины.

Отличительной особенностью современных САР турбоустановок АЭС является то, что они комбинированные.

Так турбина К-1000-60/1500, работающая в моноблоке с ВВЭР-1000, оснащена основной — электрогидравлической системой регулирования (ЭГСР) и резервной — гидравлической системой регулирования (ГСР). Весь комплекс задач регулирования выполняется ЭГСР. ГСР управляет турбиной при отказах ЭГСР или регламентных проверках [2].

Поиск новых оптимальных решений, направленных на повышение надежности, экономичности, маневренности паротурбинных установок с турбиной К-1000-60/1500-2, обеспечил разработку ряда новых конструктивных, схемных и компоновочных решений по автоматизации их управления.

Одним из таких нововведений и стало внедрение электронного регулятора скорости (ЭРС), создавшее дополнительную резервную систему, предназначенную для стабилизации нагрузки и частоты вращения в случае возникновения неисправностей в ЭГСП [3].

Таким образом, основой модернизации автоматической системы регулирования и защиты (АСРЗ) турбины К-1000-60/1500-2 стала замена штатного регулятора скорости на электронный и введение функций противоразгонной защиты для ЭГСП и ЭРС. Вывод из схемы ГСП регулятора скорости, насоса-импеллера свели к минимуму функции данной системы. Введение

же ЭРС в структуру системы регулирования турбины (СРТ) позволило автоматизировать процедуру переключения из ЭГСП в ЭРС и наоборот, а также расширило количество возможных режимов работы в сравнении с ГСП и улучшило противоразгонную защиту турбины.

Цель данной статьи состоит в том, чтобы определить основные пути совершенствования АСРЗ турбины К-1000-60/1500-2, способствующие повышению надежности противоразгонной защиты.

Результаты исследований.

Структурная схема резервной САР с электронным регулятором скорости показана на рис. 2.

Текущее значение частоты вращения ротора турбины (РТ) ω от датчика угловой скорости (Д) поступает в электронную часть электронного регулятора скорости (ЭЧ ЭРС).

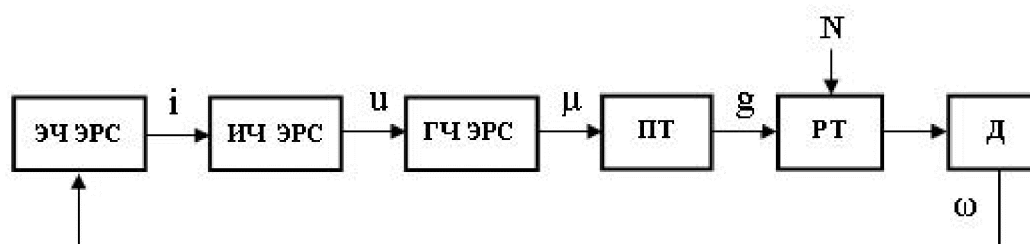


Рис. 2. Структурная схема САР частоты с электронным регулятором скорости.

Заданное значение частоты вращения турбогенератора в ЭЧ ЭРС устанавливается автоматически равным значению, имевшему место в момент включения режима ЭРС. В случае отличия заданных значений от текущих в ЭЧ ЭРС рассчитывается управляющее воздействие и осуществляется передача электрических сигналов управления i в исполнительную часть ЭРС (ИЧ ЭРС) для их дальнейшего усиления и преобразования в гидравлические сигналы u посредством электрогидравлического преобразователя ЭРС (ЭГП ЭРС). Далее схема отработки сигналов управления происходит в гидравлической части системы регулирования турбины (ГЧ СРТ), т.е. дальнейшее усиление управляющего сигнала и преобразование его в перемещение сервомотора μ . В свою очередь, перемещаясь, сервомотор переставляет регулирующий клапан высокого давления (РКВД) в заданном направлении, при этом изменяется площадь проходного сечения регулирующего клапана (РК), а следовательно, изменяются расход пара g , проходящего через паровой тракт (ПТ), и частота

вращения ротора ω . Возмущающее воздействие на данную систему оказывает изменение нагрузки по мощности N_{Γ} .

Изменение скорости вращения ротора при воздействии возмущения N_{Γ} на систему в соответствии с теоремой моментов количества движения [4] определяются:

$$T_a \cdot \phi' = \mu_{\Gamma} - \mu_{\Gamma}, \quad (1)$$

где T_a - время разгона турбогенератора,

$$T_a = \frac{2\pi n_0 J}{\bar{M}};$$

n_0 - номинальная частота вращения;

J - момент инерции ротора турбины;

$\bar{M}$ - максимальный вращающийся момент турбины, $\bar{M} = M_{\max}$;

ϕ - относительное приращение угловой частоты, $\phi = \frac{\Delta\omega}{\omega}$;

μ_T, μ_G - относительные приращения вращающего момента турбины и генератора соответственно,

$$\mu_T = \frac{\Delta M_T}{M}, \quad \mu_G = \frac{\Delta M_G}{M}.$$

Поскольку вращающие моменты турбины и генератора пропорциональны приращениям мощности турбины и генератора, то уравнение (1) можно представить в виде

$$T_a \frac{d\varphi}{dt} = \frac{\Delta N_T}{\bar{N}} - \frac{\Delta N_G}{\bar{N}} \quad (2)$$

Изменение мощности генератора N_G может быть вызвано изменением числа оборотов N_{Gn} и прямым изменением потребляемой мощности N_{GN} , т.е. $N_G = N_{Gn} + N_{GN}$.

При работе генератора на большую сеть полагают, что $N_{Gn} = 0$, тогда $N_G = N_{GN}$, а выражение (2) примет следующий вид

$$T_a \frac{d\varphi}{dt} = \frac{\Delta N_T}{\bar{N}} - \frac{\Delta N_{GN}}{\bar{N}} \quad (3)$$

или (3) в безразмерной форме

$$T_a \cdot \varphi' = \nu_T - \nu_G, \quad (4)$$

где ν_T, ν_G - относительные изменения мощности турбины и генератора соответственно.

Отклонение частоты вращения ротора турбины от заданного значения в безразмерной форме при воздействии возмущения N_G :

$$\eta = -\frac{1}{\delta}(\varphi - \varphi_{зад}), \quad (5)$$

где η - относительное отклонение датчика частоты вращения, $\eta = \frac{\Delta y}{y_{\max}}$;

δ - степень неравномерности системы регулирования (общая неравномерность поддержания частоты вращения для турбины К-1000-60/1500 изменяется в пределах 2,5...10,0);

φ - относительное изменение числа оборотов турбины, обусловленное изменением нагрузки, $\varphi = \frac{\Delta n}{n_0}$;

$\varphi_{зад}$ - относительное изменение заданного значения частоты вращения турбины,

$$\varphi_{зад} = \frac{\Delta n_{зад}}{n_0}.$$

Для описания динамики сервомотора воспользуемся уравнением инерционного звена первого порядка

$$T_c \frac{\Delta h'}{h_{\max}} + \frac{\Delta h}{h_{\max}} = \frac{\Delta y}{y_{\max}}, \quad (6)$$

где h - перемещение сервомотора РК ВД;

T_c - время сервомотора, соответствующее времени полного перемещения сервомотора при максимальной скорости.

Введя замены для относительного перемещения сервомотора, уравнение (6) можно представить в следующем виде

$$T_c \xi' + \xi = \eta, \quad (7)$$

где ξ' - относительное перемещение сервомотора при полном открытии отсечного золотника; ξ - относительное перемещение сервомотора.

Изменение расхода пара, поступающего на турбину вследствие перестановки РК в заданном направлении в безразмерной форме

$$g = \beta \cdot \pi + s \quad (8),$$

где g - относительный расход пара на турбину;

β - коэффициент нагрузки турбины,

$$\beta = \frac{\overline{G_D}}{G_{D\max}} = \frac{\overline{F_M}}{F_{M\max}} = \frac{\overline{N_T}}{N_{T\max}};$$

$\overline{G_D}, \overline{F_M}, \overline{N_T}$ - номинальные значения расхода пара, площади проходного сечения клапана, мощности турбины соответственно;

$G_{D\max}, F_{M\max}, N_{\max}$ - максимальный расход пара; площадь проходного сечения клапана, мощность турбины соответственно;

π - относительное изменение давления пара, $\pi = \Delta P_T / \overline{P_T}$;

ΔP_T - приращение давления пара;

$\overline{P_T}$ - номинальное значение давления пара;

s - относительное изменение площади проходного сечения клапана,

$$s = \Delta F_M / F_{M\max};$$

ΔF_M - приращение площади проходного сечения клапана.

Дифференциальные уравнения (4), (5), (7), (8) составляют математическую модель замкнутой резервной САР частоты вращения турбины.

При нормальной работе ЭГСР находится в работе, активно управляя параметрами турбины, а резервная САР находится в режиме «Слежение».

В этом режиме ЭРС следит за частотой вращения ротора, не выдавая сигнал управления i в ИЧ ЭРС.

Контроль цепи управления от ЭЧ ЭРС до катушки управления ЭГП ЭРС производится токами малой величины i . Если появляются условия срабатывания противоразгонной защиты, то ЭЧ ЭГСР формирует сигналы управления на ЭГП основной системы и ЭГП ЭРС для закрытия всех органов парораспределения.

Соответствующие сигналы идут в схему технологических защит на отключение тур-

бины посредством срабатывания защитных устройств.

Независимо от формирования ЭЧ ЭГСР сигнала, ЭРС дублирует аналогичные команды на ЭГП ЭРС, в ЭЧ ЭГСР и в схему технологических защит на отключение турбины.

Таким образом, защита от превышения частоты вращения ротора турбины обеспечивается СРТ и штатной механической системой защиты (рис.3) [5].

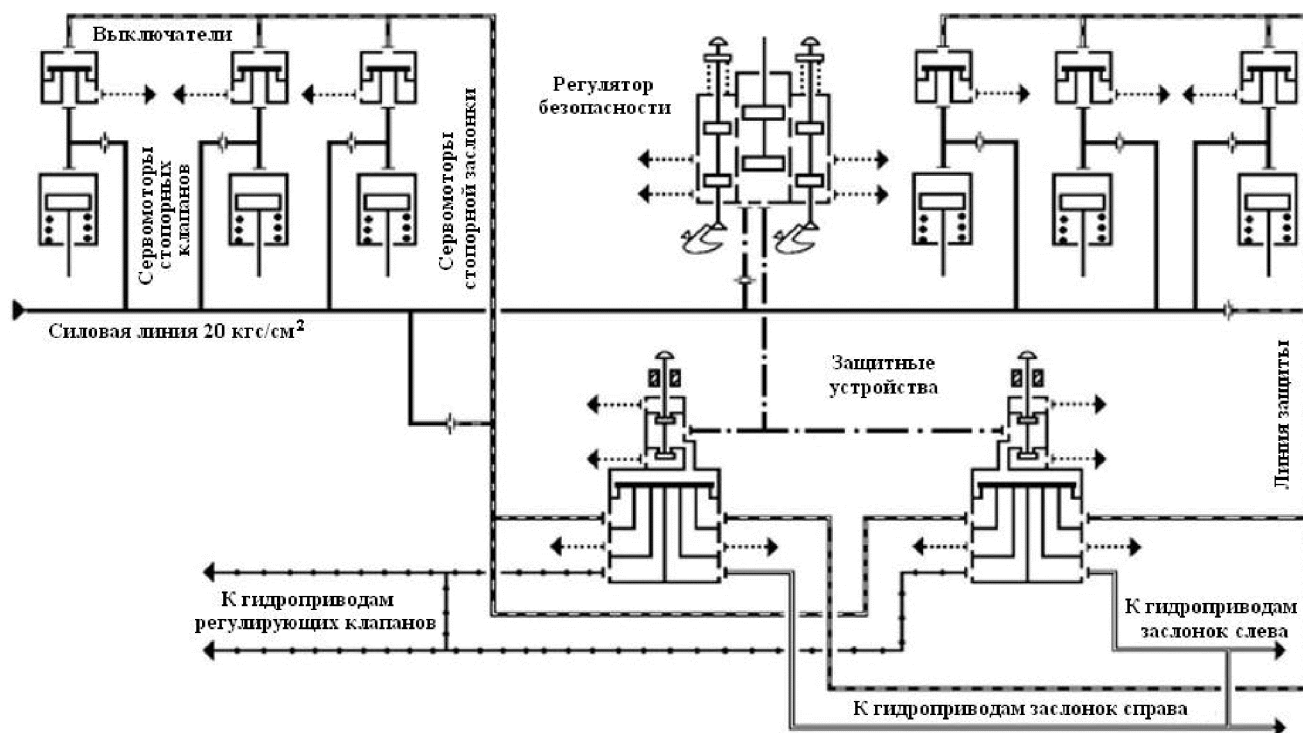


Рис. 3. Принципиальная схема механической системы защиты турбины К-1000-60/1500.

Штатная механическая система защиты включает в себя: механический регулятор безопасности (РБ), золотники регулятора безопасности (ЗРБ), два защитных устройства (УЗ), гидроприводы стопорных клапанов высокого давления и стопорных заслонок, одно или два маслосбрасывающих устройства.

Гидроприводы стопорных клапанов и стопорных заслонок - двухпозиционные с пружинами. Для управления ими используются беззолотниковые выключатели, что повышает надежность и чувствительность системы защиты.

Механический регулятор безопасности работает по принципу «один из двух»: турбина снабжена двумя автоматами безопасности коль-

цевого типа, которые срабатывают при достижении ротором частоты вращения на 11...12% выше номинальной. Кольца автомата безопасности воздействуют каждое на свой золотник, срабатывание любого из них вызывает закрытие всех органов парораспределения. Воздействием на защитные устройства также может быть произведен останов турбины. Анализируя работу механической системы защиты турбины можно выделить ряд причин, оказывающих влияние на нестабильность данной системы.

Во-первых, система снабжена рабочей жидкостью, предназначенной для бесперебойного питания командных и исполнительных органов, качество которой обязательно отразится на работоспособности данной системы.

Во-вторых, регулятор безопасности – золотниковое устройство, имеющее трущиеся поверхности, подвержено износу, заеданию из-за попадания механических примесей в конструктивные зазоры, возникновению скрытых дефектов.

Кроме того, механическая система (включая все её элементы) требует периодических испытаний на холостом ходу через определенные промежутки времени на предмет проверки ее срабатывания от повышения частоты вращения.

Все вышеуказанные обстоятельства послужили основанием для совершенствования механической системы защиты.

Теоретические и экспериментальные исследования подтверждают, что оптимальным решением является использование в составе системы защиты турбины ЭГП как одного из конструктивных элементов электронного автомата безопасности (ЭАБ) – устройства защиты турбины, предназначенного для предотвращения разгона ротора турбоагрегата до предельной по условиям прочности частоты вращения.

Работы по внедрению ЭРС и ЭАБ на энергоблоке № 2 Ростовской АЭС проводились на основании технического задания № ТЗ

ЦАТЭ.РСТ АЭС.07.027.00-2012, разработанного «Центратомтехэнерго» и согласованного с ОАО «Турбоатом» [6].

В состав ЭАБ входят следующие конструктивные элементы: электрогидравлический преобразователь (ЭГП ЭАБ), выполняющий преобразование электрических команд ЭАБ в перемещение исполнительного золотника; два канала с тремя датчиками угловой скорости (ДУС) в каждом.

Датчики формируют переменное напряжение пропорциональное частоте вращения ротора турбины. Для первого комплекта ЭАБ используются три ДУС ЭГСП, для второго – три ДУС ЭРС; электронная часть электронного автомата безопасности (ЭЧ ЭАБ) реализуется в двух стойках – ЭГСП и ЭРС; бесконтактный датчик перемещения золотника ЭГП ЭАБ.

Структурная схема системы защиты турбины с включенным в ее состав ЭАБ представлена на рис. 4.

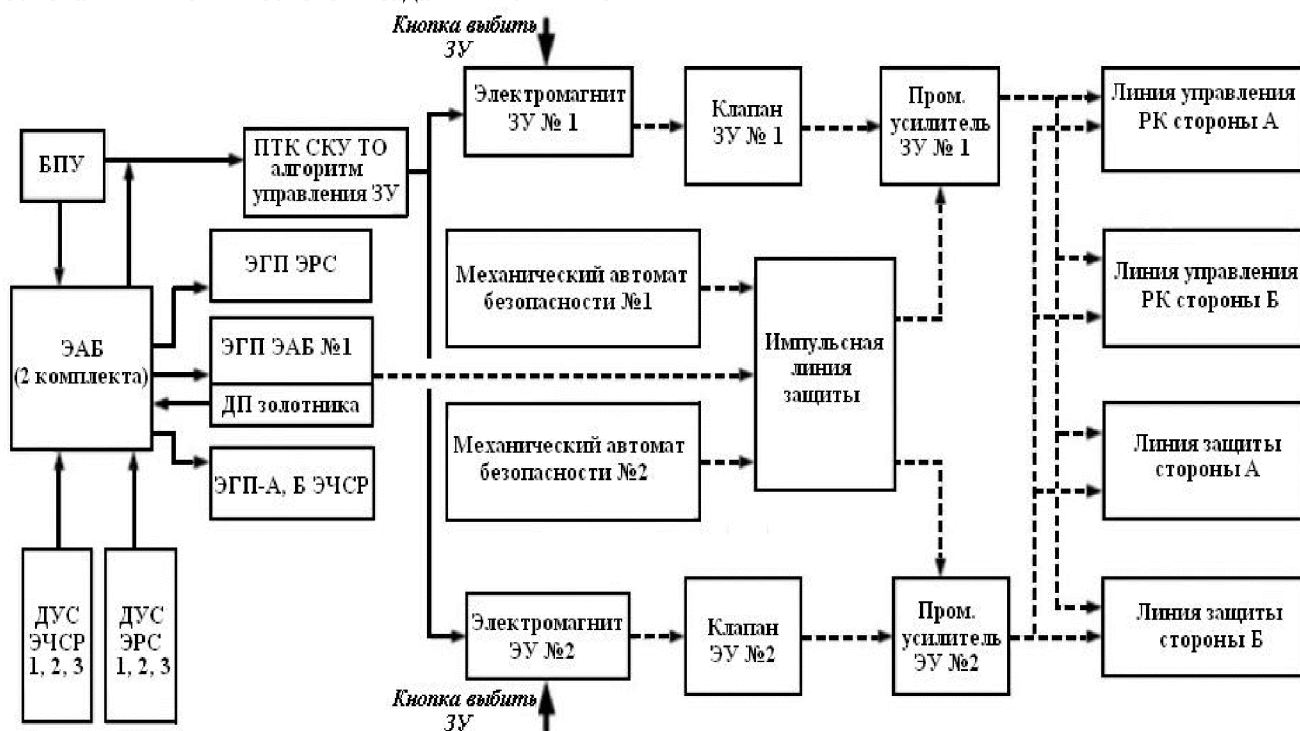


Рис. 4. Структурная схема системы защиты турбины с ЭАБ.

- ЭАБ работает в четырех режимах:
- «ЭАБ отключен» - распитанное состояние электромагнитного преобразователя электронного автомата безопасности (ЭМП ЭАБ);

- «Работа ЭАБ» - режим, в котором происходит непрерывное измерение частоты вращения ротора турбогенератора (ТГ) по двум независимым каналам и обработка измерений при запитанном исправном состоянии ЭМП ЭАБ;

- «Проверка 1» - режим, предназначенный для проверки реального срабатывания ЭАБ с закрытием всех органов парораспределения на холостом ходу ТГ с повышением частоты вращения ротора до определенной уставки срабатывания;
- «Проверка 2» - режим, предназначенный для опробывания золотника ЭГП ЭАБ перемещением его при включенном в сеть ТГ путем плавного увеличения управляющего тока ЭМП ЭАБ.

В режиме «Работа ЭАБ» автомат безопасности срабатывает при наличии хотя бы одного из трех условий:

- в случае, если $f_{тек} > 110\% f_{ном}$;
- если $f_{тек} > 107\% f_{ном}$

и

$$\frac{df_{тек}}{dt} > 0,3 \cdot \frac{df}{dt} \Big|_{макс};$$

- если $f_{тек} > 105\% f_{ном}$

и

$$\frac{df_{тек}}{dt} > 0,5 \cdot \frac{df}{dt} \Big|_{макс}.$$

Таким образом, внедрение ЭАБ позволило повысить надежность противоразгонной защиты за счет:

- введения дополнительных каналов, выполненных в различных системах (ЭГСР и ЭРС), с целью обеспечения длительного (18-месячного) цикла безостановочной работы турбины;
- упростило проверочные работы противоразгонной защиты при работе турбины под нагрузкой;
- снизило величину заброса частоты вращения ротора турбины при срабатывании противоразгонной защиты турбины за счет упреждающего сигнала, образованного по ускорению ротора и достигнутой величине частоты вращения (дополнительно к сигналу повышения частоты вращения ротора на 10 – 12 %).

Заключение.

Повышение надежности противоразгонной защиты паровой турбины К-1000-60/1500-2 было достигнуто за счет качественного улучшения АСРЗ турбины данного типа.

На основе анализа принципиальной схемы штатной механической системы было обозначено несколько причин, оказывающих влияние на нестабильность системы, и определены основные направления ее модернизации. Так, штатная механическая система защиты турбины была дополнена двумя многоканальными независимыми системами, имеющими собственные исполнительные механизмы управления, для передачи команд на закрытие всех органов парораспределения турбины.

Таким способом существующая противоразгонная защита, построенная на основе механических устройств, резервируется двумя системами, работающими по иному принципу, одна из которых активна и постоянно находится в работе, а вторая пассивна и находится в режиме слежения.

Осуществить подобное решение стало возможно на основе технических средств автоматизации нового поколения, работающих в реальном масштабе времени и характеризующихся многолетней безотказной работой, на которых и были реализованы электронные части ЭГСР и ЭРС.

В процессе длительной эксплуатации основные элементы ЭГСР и ЭРС постоянно находятся в работе и тестируются внутренними средствами, проверка их работоспособности на работающей турбине может быть сведена к опробованию ЭРС периодическим включением в работу с допустимым по условиям эксплуатации изменением мощности. В связи с чем, временной период между испытаниями может быть увеличен.

Немаловажным шагом в улучшении надежности СРТ стала замена штатного регулятора скорости на ЭРС, что позволило автоматизировать процедуру переключения из ЭГСР в ЭРС и наоборот, расширило функциональные возможности СРТ, а также обеспечило автоматический останов турбины с минимальным запаздыванием по внешним сигналам.

Для более полного представления о резервной системе, предназначенной для стабилизации нагрузки и частоты вращения в случае возникновения неисправностей в ЭГСР, была составлена ее математическая модель.

Список литературы

1. Кирияченко В.А., Мирошниченко С.Т., Чупрынин А.С. Системы автоматического регулирования и защиты турбоагрегатов атомных станций: Учебник. – Севастополь: СКУАЭиП, 2013. – 244 с.

2. Зацаринная Т.Г. Резервная система автоматического регулирования частоты вращения турбины с электронным регулятором скорости. Научный журнал «Sciences of Europe». – Praha, Czech Republic, 2016. – Vol. 2, № 10 (10) – С. 109-113.
3. Зацаринная Т.Г., Чуклин А.А., Шахова Н.В. Усовершенствование автоматизированных систем регулирования паротурбинных установок. Материалы XVII Международной научно-практической конференции «Научное обозрение физико-математических технических наук в XXI веке» (Москва, Россия, 29-30 мая 2015 г) – С. 38 – 42.
4. Демченко В.О. Автоматизація та моделювання технологічних процесів АЕС та ТЕС: Навчальний посібник. – Одеса: Астроприн, 2001. – 308 с. Рос. Мовою.
5. Кирияченко В.А., Мирошніченко С.Т., Чупрын А.С. Системы автоматического регулирования и защиты турбоагрегатов атомных станций: Альбом схем. – Севастополь: СКУЯЭиП, 2013. – 89 с.
6. Саньков А.А. Внедрение ЭРС м ЭАБ на энергоблоках № 2 Ростовской АЭС и № 4 Калининской АЭС // Описание электронного регулятора скорости (ЭРС). — 2013. [электронный ресурс] — Режим доступа. — http://www.rosatom-cipk.ru/wp-content/uploads/2013/12/09_30.pdf

References

1. Kiriyachenko V.A., Miroshnichenko S.T., Chuprynin A.S. *Automatic Control and Protection Systems of Nuclear Power Plants Turbogenerators*. Sevastopol, SNUNE & I, 2013, 244 p.
2. Zatsarinnaya T.G. *Backup Control With Electronic Speed Regulator For Turbine Rotating Speed Control*. Praha, Czech Republic, *Sciences of Europe* Publ., 2016, Vol. 2, Issue 10 (10), pp. 109-113.
3. Zatsarinnaya T.G., Chuklin A.A., Shakhova N.V. *Improvement Of Computer-Based Control System For Steam-Turbine Plant. Scientific review of physical and mathematical and technical science in the XXI century: mater. XVII international scientific and practical conference*. – Russia, Moscow, 28-31 of May 2015. Moscow, 2015, pp. 38 - 42.
4. Demchenko V.O. *Automation and Mathematic Modelling Of Technological Processes Of NPP and TPP*. Odessa: Astroprin, 2001, 308 p.
5. Kiriyachenko V.A., Miroshnichenko S.T., Chuprynin A.S. *Automatic Control and Protection Systems of Nuclear Power Plants Turbogenerators*. Sevastopol, SNUNE & I, 2013, 89 p.
6. San'kov A.A. *Vnedrenie ERS m EAB na energobloках №2 Rostovskoi AES i №4 Kalininskoi AES: Opisanie elektronnoho regulatora skorosti (ERS)*. Available at: http://www.rosatom-cipk.ru/wp-content/uploads/2013/12/09_30.pdf.

УДК 524:621.311.25

Модели гравитационных эффектов пространственно-временных монополей ядерных и естественных реакторов

С.А. Качур

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

Статья поступила 23.01.2017 г.; после доработки 25.01.2017 г.

Аннотация

Предложены модели гравитационных эффектов монополей ядерного реактора, Земли (планет), Солнца (звезд солнечного типа), основанные на аналитическом описании зависимости коэффициента искривления пространства и ускорения силы тяжести. Выполнено моделирование величины ускорения силы тяжести или гравитационной постоянной от зон кривизны монополя и степени кривизны пространства.

Ключевые слова: ядерный реактор, естественный ядерный реактор, естественный термоядерный реактор, модель, гравитационные взаимодействия, математическое моделирование.

Models of gravitation effects of spatio-temporal monopoles of nuclear and natural reactors

S.A. Kachur

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

Received 23.01.2017 y.; received in final form 25.01.2017 y.

Abstract

The models of gravitation effects of monopoles of nuclear reactor, Earth (planets), Suns (stars of sun type) based on analytical description of dependence of coefficient of curvature of space and acceleration of gravity, are offered. The design of size of acceleration of force of weight or gravitation curvature of monopoles and degree of curvature of space permanent from areas is executed.

Keywords: nuclear reactor, natural nuclear reactor, natural thermonuclear reactor, model, gravitation co-operations, mathematical simulation.

Введение

Попытки решения проблем, связанных с рассмотрением гравитационных, пространственно-временных эффектов и реализацией переходов в параллельные пространства, вызывают неослабевающий научный интерес [1-5]. Известно, что пространство и время деформируются и искривляются в ответ на присутствие вещества или энергии. Такие деформации структуры пространства и времени передают силу тяжести из одного места в другое.

Исследования гравитационных эффектов, проводимые в работе, основаны на гипотезе, в которой искривленное пространство-время рассматривается как устойчивое макроскопическое образование, т.е. макрополе с определенным коэффициентом кривизны, ограниченное во времени и пространстве. Данное образование, названное пространственно-временным монополем, порождено стоячей волной деформации пространства, вызванной мощным выбросом энергии ядерных или термоядерных реакций. Вопросы, связанные с созданием и функциони-

рованием пространственно-временных монополей ядерного реактора и естественных реакторов рассмотрены в работах [6-12].

Искривление пространства ядерным или термоядерным реактором определяется ядерным, гравитационным и электромагнитным взаимодействиями. Проблема нахождения взаимосвязей между константами и параметрами этих взаимодействий в настоящее время не решена.

Постановка цели и задач научного исследования

Цель исследования – создание моделей, описывающих взаимосвязь гравитационных и электромагнитных взаимодействий в пространственно-временных монополях ядерных и естественных термоядерных реакторов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) выявление зависимостей между параметрами, связывающими гравитационные и электромагнитные взаимодействия;
- 2) аналитическое описание зависимостей между параметрами, задающими гравитационные и электромагнитные эффекты монополей ядерных реакторов, естественных ядерных реакторов (Земли и планет), естественных термоядерных реакторов (Солнца и звезд солнечного типа);
- 3) моделирование зависимости ускорения силы тяжести или гравитационной постоянной от зон кривизны монополя и степени кривизны пространства.

Понятие пространственно-временного монополя

Кривизна пространства ядерного реактора в состоянии реактора близком к мгновенной критичности, а для естественных реакторов – к взрыву, порождается в результате воздействия на реактор внешнего высокочастотного электромагнитного излучения при наличии объекта, способного отражать жесткое излучение реактора [6]. В такой ситуации возникает пространственно-временной монополю, удерживающий на некоторое время неизменной деформацию пространства [6].

Пространственно-временной монополю – это устойчивое макроскопическое образование, объединяющее различной кривизны с различным течением времени пространства, определенные электромагнитными и гравитационными эффектами. Такое образование

имеет возможность квантового изменения границ и кривизны пространств за счет вызванного внешними факторами кантования энергии ядра монополя [6].

Монополю является специфической структурой искривленного пространства. Он включает область пространственного расширения, область задержки, область сжатия, а также небольшую область в непосредственной близости к ядерному реактору, названную областью коллапса. Последовательность этих зон зависит от того, выступает ли реактор, как ядро монополя, в виде «скрытой» или «голой» сингулярности [6, 8].

Земля и Солнце могут быть рассмотрены как «голая» сингулярность, а ядерный реактор в схеме использования естественных ядерного (Земли) и термоядерного (Солнца) реакторов как скрытая сингулярность. Под сингулярностью будем понимать центральное компактное и сравнительно горячее ядро физического объекта. Все, что попадает в сингулярность, разрушается. В черной дыре сингулярность «одетая» — она окружена виртуальной граничной поверхностью, называемой горизонтом событий, которая скрывает ее от внешнего наблюдателя. Все, что проникает под эту поверхность, никогда не может вернуться назад. Обнаженная сингулярность не окружена такой граничной поверхностью. Она видима внешнему наблюдателю, и объекты, движущиеся по направлению к ней, могут, в принципе, развернуться вплоть до достижения самой сингулярности [8].

Пространственно-временной монополю «скрытой» сингулярности имеет дискообразную форму с системой реакторов (реактором) в центре. Существует некоторая аналогия между пространственно-временным монополем реактора и сверхтяжелым монополем (GUT-монополем) [6]. Монополю реактора как монополю «скрытой» сингулярности включает четыре зоны: центральная область – зона коллапса; зона сжатия с замедлением времени в соответствии с ОТО; зона задержки времени, которая позволяет вернуться во времени назад; зона расширения с ускорением течения времени в соответствии с ОТО. Пространственно-временной монополю «голой» сингулярности является зеркальным отражением квантовой модели пространства «скрытой» сингулярности (черной дыры) [6]. В нем центральная область соответствует зоне коллапса; первому уровню – пространственное расширение; второму, как и для случая черной дыры, – задержка во времени, но с противоположным знаком по сравнению с временной задержкой скрытой сингулярности, третьему – пространственное сжатие. Как для

скрытой, так и для голой сингулярности на внешней границе зоны сжатия находится излучатель электромагнитных волн в радиочастотном диапазоне. Коэффициент искривления пространства изменяется дискретно. Для реактора типа «скрытая» сингулярность значение коэффициента зависит от уровня монополя n и определяется как

$$k_p = 2\pi n, \quad n = 1, 2, \dots$$

а для реактора типа «голая» сингулярность как

$$k_p = 2\pi n, \quad n = 1, 2, \dots$$

Расстояние от реактора для типа «скрытой» сингулярности уровней квантования пространства, соответствующие границам зон сжатия R_1 , задержки R_2 , расширения R_3 , определяются следующим образом

$$R_1 = \frac{cn}{2\omega_{AP}}, \quad R_2 = R_1 k_p, \quad R_3 = 2R_2,$$

где k_p – коэффициент искривления пространства.

Формула расчета коэффициента искривления пространства в монополе ядерного реактора приведена в [6, 7]. Ниже представлен конечный результат вывода

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{1}{k_1(1 + 10F\beta'\omega_0)} \right)^2}}, \quad (1)$$

$$k_1 \approx \frac{T_{HK} + \Delta T_{HK}}{T_{HK}}, \quad \left(\frac{\Delta T_{HK}}{T_{HK}} \right)_{\max} = \frac{\alpha}{4},$$

$$F = \frac{1}{\omega_{AP}} \cdot \frac{\beta_6}{\beta} \omega_2, \quad \omega_2 = k_{cp} \cdot \frac{c}{\ln(c^2)},$$

$$\omega_0 = k_{cp} \cdot \frac{\alpha^3}{2\pi \ln(c^2)}, \quad (2)$$

где ω_{AP} – частота ядерного магнитного резонанса ($\omega_{AP} = 3 \cdot 10^5$ Гц);

β и β_6 – доля соответственно всех запаздывающих нейтронов и нейтронов 6-й группы по отношению к полному числу нейтронов для ^{235}U ;

β' – доля запаздывающих нейтронов по отношению к полному числу нейтронов для ^{239}Pu ;

F – частотный коэффициент ядерного магнитного резонанса;

k_1 – температурный коэффициент усиления, задающий исходное состояние реактора в момент внешнего электромагнитного воздействия;

$T_{HK}, \Delta T_{HK}$ – температура начала поверхностного кипения теплоносителя и ее изменение;

α – постоянная тонкой структуры;

k_{cp} – константа, необходимая для согласования размерности.

Взаимосвязь параметров гравитационных и пространственно-временных эффектов монополей реакторов

Взаимосвязь таких параметров как ускорение силы тяжести вблизи реактора и коэффициент искривления пространства описывает зависимость пространство-временных и гравитационных эффектов.

Рассмотрим связь этих параметров для следующих видов монополей: а) ядерного реактора, б) звезды Солнце (естественного термоядерного реактора), в) планеты Земля (естественного ядерного реактора).

Первоначально необходимо определить формулы расчета коэффициента искривления. Они различны для разных видов монополей (звезды, планеты, ядерного реактора), но базируются на формуле, предложенной в работах [6, 13]. Предполагается, что при определенных условиях нерелятивистский объект в пространстве монополя ядерного реактора можно рассматриваться как нерелятивистскую частицу. Тогда известная формула коэффициента изменения времени в ОТО (коэффициента искривления пространства k) принимает для объекта вид

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \equiv \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\omega^4 V^2}{\omega_c^4 c^2}}}. \quad (3)$$

где V – скорость объекта при его частоте ω , позволяющая покидать монополь «скрытой» сингулярности;

ω_c – частота видимого (оптического) излучения ($\omega_c = 429 \text{ ТГц} \div 750 \text{ ТГц}$);

c – скорость света.

Поскольку коэффициент искривления пространства монополя определяется фотонным излучением гипотетического реактора со скоростью близкой к скорости света и частотой близкой к ω_c , то соотношение (3) можно записать следующим образом

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(c - \Delta c)^2 (\omega_c - \Delta \omega_c)^4}{c^2 \omega_c^4}}}. \quad (4)$$

Для ядерного реактора и Земли $\Delta \omega_c = 0$ и (4) преобразуется к виду

$$k_{AP} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(c - \Delta c)^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(1 - \frac{\Delta c}{c}\right)^2}}. \quad (5)$$

Для Солнца $\Delta c=0$ и (4) примет вид

$$k_{TP} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(\omega_c - \Delta\omega_c)^4}{\omega_c^4}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(1 - \frac{\Delta\omega_c}{\omega_c}\right)^4}}. \quad (6)$$

Таким образом, для естественных и созданных человеком ядерных реакторов фотонное излучение рассматривается как волновое, а для естественных термоядерных реакторов при расчете учитываются корпускулярные свойства фотонов. Расчет ускорения силы тяжести вблизи реактора выполняется, используя известную формулу

$$g = \gamma \frac{M}{R^2} \quad (7)$$

где γ – гравитационная постоянная;

M – масса реактора;

R – радиус реактора.

Зная значение одного из двух параметров k или g , можно определить значение другого. Исходным параметром для Солнца и Земли является ускорение силы тяжести, рассчитываемое по (7). Для ядерного реактора исходный параметр – коэффициент искривления, определяемый по формуле (1). Размер монополя R_M планеты или звезды рассчитывается по формуле

$$R_M = Rk,$$

где R – радиус космического объекта,

k – коэффициента искривления пространства.

Модель гравитационных эффектов для монополя ядерного реактора

Для определения коэффициента искривления монополя ядерного реактора необходимо применить формулу (1). Предположим, что коэффициент искривления рассчитан и принимает значение $k_p = 2\pi$. Для монополя ядерного реактора формула (7) примет вид

$$a = \gamma \frac{M_p K}{r_p^2}, \quad (8)$$

где K – коэффициент усиления реактора,

M_p – массы реактора,

r_p – радиус реакторного пространства.

В соответствии с формулой (8) при значениях массы реактора $M_p = 2 \cdot 10^4$ кг, радиусе $r_p = 6$ м и коэффициенте усиления монополя $K = 2,1 \cdot 10^8$ [6,

7, 10] величина ускорения силы тяжести реактора примет значение $a = 7,78$ м/с².

При максимальном значении коэффициент усиления реактора $K \equiv K_{max} = 3 \cdot 10^8$, определяющем взрыв, в соответствии с (8) ускорение равно $a = 11$ м/с².

Определим зависимость ускорения силы тяжести реактора от коэффициента искривления пространства реактора для евклидового пространства. Преобразовывая (5), получим для вычисления Δc следующее выражение

$$\Delta c = c \left(1 - \sqrt{1 - \frac{1}{k_p^2}} \right). \quad (9)$$

Размер монополя ядерного реактора определяется следующим образом [6-8]

$$R_M = \frac{kc}{\omega_{AP}}. \quad (10)$$

Выполним следующий вывод, учитывая (9) и (10),

$$a = \Delta c \cdot \Delta\omega, \quad \Delta\omega = \frac{\Delta c}{R_M} \cdot \frac{\omega_0}{\omega_p}, \quad a = \frac{\Delta c^2 \omega_{AP}}{ck_p},$$

$$a = \frac{\left(1 - \sqrt{1 - \frac{1}{k_p^2}} \right)^2 \omega_{AP} \omega_0}{k_p}, \quad (11)$$

где ω_p – частота ядерного реактора (ω_p для «скрытой» сингулярности определяется нулевой гармоникой функции Бесселя и $\omega_p \equiv \omega_0 = 0,478$ Гц, для «голой» сингулярности определяется первой гармоникой функции Бесселя и $\omega_p \equiv \omega_1 = 1,1$ Гц [6])

Изменения ускорений силы тяжести по одноименным зонам монополей разного типа одинаковы. Это является следствием соотношений масс реакторов и их реакторных радиусов (радиусов зон коллапса), которые представлены следующим образом при равных значениях уровня монополя n

$$\frac{\omega_0}{\omega_1} = \frac{r''}{r'}, \quad \omega_1 = k \cdot \frac{c}{2(\ln c)^2 \omega'_{AP}},$$

$$\frac{M'_p}{(r')^2} = \frac{M''_p}{(r'')^2},$$

где r' , r'' – радиусы зоны коллапса для монополей «скрытой» сингулярности и «голой» сингулярности соответственно;

M', M'' – массы ядерных реакторов монополей «скрытой» сингулярности и «голой» сингулярности соответственно ($\omega'_{AP} = 3,5 \cdot 10^5$ Гц).

Результат расчета по формуле (11) совпадает с результатом, полученным при использовании (8) для $K=2,1 \cdot 10^8$ независимо от типа монополя. С точки зрения наблюдателя в исходном евклидовом пространстве происходит изменение ускорения силы тяжести монополя согласно смене зон деформации: зона расширения, зона задержки, зона сжатия, зона коллапса вместе с реактором. При этом гравитационная постоянная не изменяется. Соотношения величины ускорения для разных зон описывается соотношением

$$a_z^2 = a_r^2 + a_s^2, \quad (12)$$

где a_z , a_s и a_r – ускорение силы тяжести монополя в зоне задержки, сжатия и расширения с точки зрения наблюдателя в евклидовом пространстве соответственно. Относительно величины a , рассчитанной по (8) для $K=2,1 \cdot 10^8$ или по (11), соотношение (12) примет следующий вид

$$(\sqrt{2}a)^2 = (\sqrt[3]{2}a)^2 + (a/\sqrt{2})^2. \quad (13)$$

Таким образом, в соответствии с (13) $a_z = 10,9 \text{ м/с}^2$, $a_s = 5,6 \text{ м/с}^2$, $a_r = 9,8 \text{ м/с}^2$.

В зоне коллапса ускорение силы тяжести определяется как

$$a_k^2 = a_z^2 - a_s^2 \equiv a_r^2, \quad (14)$$

т.е. в центре монополя ядерного реактора в земных условиях ускорение силы тяжести равно $9,8 \text{ м/с}^2$. Если в соотношениях (12) – (14) использовать ускорение силы тяжести монополя для любого вида реактора (при $n = 1$), то также получим универсальные соотношения.

Предлагается следующая математическая модель гравитационных эффектов монополя ядерного реактора. Для случая монополя типа «скрытая» сингулярность модель представляется в виде следующих соотношений

$$\begin{aligned} a_1(r) &= g(1 - k_1 e^{-k(r+1)} (\cos 2r + k \sin 2r)) + k_1 g e^{-1000r-k}, \\ 0 \leq r &\leq 2\pi n, \\ k &= \left(1 + e^{-2(n+1)/3}\right)^{S/2}, \quad S = 1 - 2e^{-n+1}, \\ k_1 &= 2 - e^{-n+1}, \end{aligned} \quad (15)$$

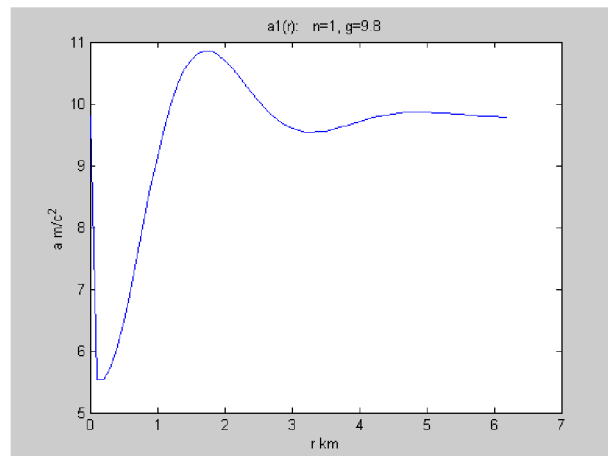
где n – уровень монополя или степень кривизны пространства.

Для монополя типа «голая» сингулярность (15) принимает вид

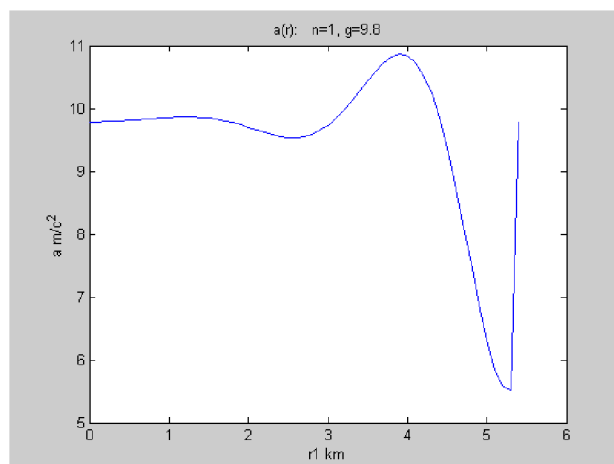
$$a(r) = g((1 - k_1 e^{-k(2\pi-r+1)} (\cos(4\pi - 2r) + k \sin(4\pi - 2r))) + k_1 g e^{-1000(2\pi-r)-k}), \quad (16)$$

$$r = \pi r_1 / en, \quad 0 \leq r_1 \leq 2en. \quad (17)$$

Результаты моделирования в программной среде MATLAB зависимостей (15) и (16) для монополя ядерного реактора при $n = 1$ представлены на рис. 1(а) и рис. 1(б). Монополь типа «скрытая» сингулярность (рис. 1(а)) имеет следующие границы зон деформации пространства.



а)



б)

Рис. 1. Зависимость ускорения силы тяжести от расстояния до центра ядерного реактора для монополя типа «скрытая» сингулярность (а) и типа «голая» сингулярность (б)

Границе зоны коллапса соответствует значение $r = 6 \text{ м}$, сжатия – $r = 0,5 \text{ км}$, задержки – $r = \pi \text{ км}$, расширения – $r = 2\pi \text{ км}$. Размер монополя составляет $2\pi \text{ км}$. Аналогичные параметры для монополя типа «голая» сингулярность можно определить из соотношений (17). С точки зрения наблюдателя, находящегося в стационарном состоянии внутри монополя, в зоне задержки нагрузка на него возрастает, а в зоне сжатия уменьшается по сравнению с исходным пространством, т.е. проис-

ходит изменение гравитационной постоянной. В этом случае отношения (12)-(14) определяют условие гравитационной устойчивости для любого вида монополя реактора (естественного ядерного или термоядерного) и могут быть записаны следующим образом

$$\begin{aligned}\gamma_z^2 &= \gamma_r^2 + \gamma_s^2, \\ (\sqrt{2}\gamma)^2 &= (\sqrt[3]{2}\gamma)^2 + (\gamma/\sqrt{2})^2, \\ \gamma_k^2 &= \gamma_z^2 - \gamma_s^2 \equiv \gamma_r^2,\end{aligned}\quad (18)$$

где γ – гравитационная постоянная.

При $n \rightarrow \infty$ выражение (18) примет вид

$$(2^{1/6}\gamma)^2 = \gamma^2 + (2^{-5/6}\gamma)^2, \quad (19)$$

Таким образом, в соответствии с (19) при $n \rightarrow \infty$ в зоне расширения и зоне коллапса гравитационная постоянная не изменяется.

Вид непрерывной функции $\gamma(r)$ соответствует виду $a(r)$, приведенной на рис. 1

Модель гравитационных эффектов для монополя естественного термоядерного реактора (Солнца или звезды солнечного типа)

Для определения коэффициента искривления монополя звезды солнечного типа будем использовать формулу (6).

Предлагается для расчета изменение частоты $\Delta\omega$ следующее соотношение

$$\Delta\omega = \frac{g_c}{Hc} \cdot \frac{\omega_{AP}}{\omega_{0c}}, \quad (20)$$

$$\omega_{0c} = \frac{c}{R_c}, \quad H = \frac{\alpha^3}{2\pi},$$

где g_c – ускорение силы тяжести звезды (для Солнца $g_c = 278,8$ м/с²);

ω_{AP} – частота ядерного магнитного резонанса ($\omega_{AP} = 3 \cdot 10^5$ Гц);

R_c – радиус звезды (для Солнца $R_c = 6,96 \cdot 10^8$ м);

ω_{0c} – основная частота звезды;

H – энтропия ядерного реактора (вывод формулы приведен в [6, 9], $H = 6,19 \cdot 10^{-8}$);

α – постоянная тонкой структуры);

c – скорость света.

В соответствии с (20) для Солнца $\Delta\omega = 1,014 \cdot 10^5$ Гц.

Определение частоты электромагнитного излучения звезды, позволяющего создать монополь, выполняем в соответствии с формулами

$$\omega = \frac{\Delta\omega}{H'}, \quad (21)$$

$$H' = k_{kop} H, \quad (22)$$

$$k_{kop} = \frac{Hc\omega'}{g_c} \quad (23)$$

$$\omega' = k_{cp} \cdot \frac{1}{\sqrt{2 \ln c}}, \quad (24)$$

где H' – приведенная энтропия реактора;

k_{kop} – корректирующий коэффициент;

ω' – значение частоты внешнего для Земли источника (Солнца) излучения, вызывающего деформацию ее пространства (вывод формулы рассмотрен в [6, 10], $\omega' = 3,6 \cdot 10^{-2}$ с⁻¹);

k_{cp} – константа, необходимая для согласования размерности.

Существует связь частоты ω' , которая соответствует первой гармонике функции Бесселя, с ускорениями силы тяжести Земли g_p и Солнца g_c , которую можно описать следующим соотношением

$$\omega' \approx k_{cp} \cdot \frac{g_p}{g_c}.$$

Энтропия термоядерного реактора меньше энтропии ядерного реактора и на основе преобразований (22)-(24) определяется формулой

$$H' = \frac{H^2 c \omega'}{g_c}. \quad (25)$$

В соответствии с (25) для Солнца $H' = 1,47 \cdot 10^{-10}$.

Подставляя в (21) выражения (22)-(24), получим следующую формулу для частоты электромагнитного излучения Солнца

$$\omega = \frac{g_c^2}{H^3 c^2 \omega'} \cdot \frac{\omega_{AP}}{\omega_{0c}}. \quad (26)$$

В соответствии с (26) для Солнца $\omega = 6,7 \cdot 10^{14}$ Гц.

Используя (21), (22), приведем (6) к форме

$$k_{TP} = \frac{1}{\sqrt{1 - (1 - H')^4}} \equiv \frac{1}{\sqrt{1 - \left(1 - \frac{H^2 c \omega'}{g_c}\right)^4}}. \quad (27)$$

Результат расчета по формуле (27): $k_{TP} \approx 4,1 \cdot 10^4$.

Формула (27) описывает взаимосвязь искривления пространства монополя естественного термоядерного и гравитационных, и электромагнитных взаимодействий.

Результаты моделирования в соответствии с формулой (16), отражающие изменение ускорения силы тяжести монополя Солнца в радиальном направлении представлены на рис.2.

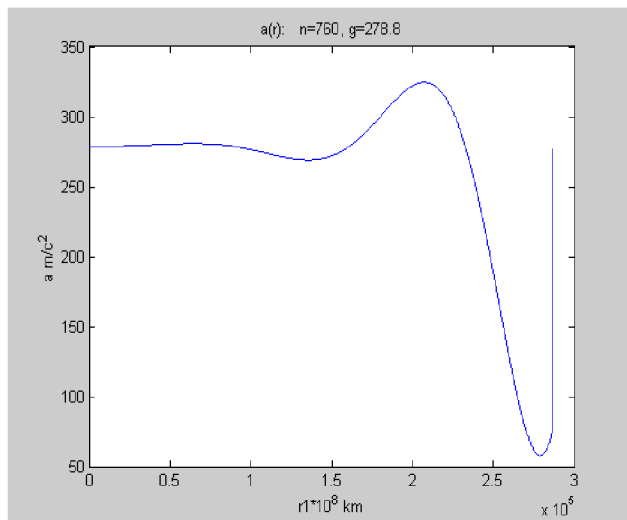


Рис. 2. Зависимость изменения величины ускорения силы тяжести для монополя Солнца в радиальном направлении

Модель гравитационных эффектов для монополя естественного ядерного реактора (Земли или планеты)

Для определения коэффициента искривления монополя планеты применима формула (5).

Предлагается для расчета изменение частоты Δc следующее соотношение

$$\Delta c = \frac{g_p}{H\omega'_0} \cdot \frac{\omega_{0p}}{\omega_{AP}}, \quad (28)$$

$$\omega_{0p} = \frac{c}{R_p}, \quad \omega'_0 = \omega_0 \frac{a}{g_p},$$

где g_p – ускорение силы тяжести планеты (для Земли $g_p = 9,8 \text{ м/с}^2$);

ω_{AP} – частота ядерного магнитного резонанса ($\omega_{AP} = 3 \cdot 10^5 \text{ Гц}$);

R_p – радиус планеты (для Земли $R_p = 6,38 \cdot 10^6 \text{ м}$);

ω_{0p} – основная частота планеты;

ω'_0 – приведенное значение частоты ω_0 нулевой гармоники функции Бесселя для ядерного реактора (ω_0 определяется на основе формулы (2), вывод которой приведен в [6, 10]; $\omega_0 = 0,478 \text{ с}^{-1}$);

a – ускорения силы тяжести ядерного реактора, имеющего монополь с коэффициентом кривизны пространства $k_p = 2\pi$ ($a = 7,78 \text{ м/с}^2$).

В соответствии с (28) для Земли $\Delta c = 4,3 \cdot 10^4 \text{ м/с}$. Используя (28), приведем (5) к форме

$$k_{AP} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(1 - \frac{g_p}{H\omega'_0} \cdot \frac{\omega_{0p}}{\omega_{AP}}\right)^2}}. \quad (29)$$

Результат расчета по формуле (29): $k_{AP} \approx 59$.

Результаты моделирования в соответствии с формулой (16) для монополя Земли приведены на рис. 3.

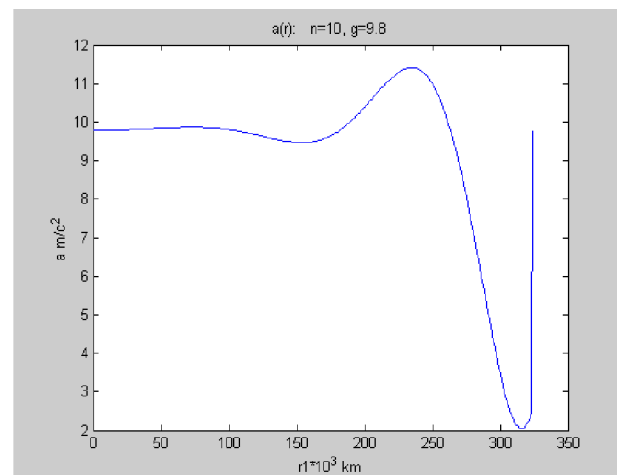


Рис. 3. Зависимость изменения величины ускорения силы тяжести для монополя Земли в радиальном направлении.

Коэффициент искривления пространства монополя естественного ядерного так же, как термоядерного зависит от ускорения силы тяжести и энтропии термоядерного реактора, а, следовательно, определяется гравитационными и электромагнитными взаимодействиями.

Заключение

Аналитически описаны зависимости между коэффициентом искривления пространства и ускорением силы тяжести для монополей ядерного реактора, Земли (планет), Солнца (звезд солнечного типа). Проведено моделирование изменения ускорения силы тяжести или гравитационной постоянной от зон кривизны и степени кривизны пространства для монополей различного типа.

Представляется, что проведенные исследования открывают новые возможности для определения оптимальных траекторий галактических полетов космических аппаратов за счет использования кривизны пространства монополей космических объектов.

Список литературы

1. Хокинг С, Пенроуз Р. Природа пространства и времени. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. – 160 стр.
2. Блохинцев Д. Н. Пространство и время в микромире. – М.: Наука, 1982. – 176с.
3. Новиков И.Д., Фролов В.П. Физика черных дыр. – М.: Наука, 1986. – 328 с.
4. Шкловский И.С. Звезды: их рождение, жизнь и смерть. – М.: Наука, 1984. – 384с.
5. Вебер Дж. Общая теория относительности и гравитационные волны – М.: Из-во иностр. лит-ры, 1962. – 272с.
6. Качур С.А. Управление ядерными реакторами на основе кривизны пространства/ С.А. Качур. – Севастополь: «РИБЕСТ», 2016. – 220с.
7. Качур С.А. Искривление пространства ядерного реактора вблизи мгновенной критичности посредством естественных пространственно-временных монополей/ С.А. Качур // Энергетические установки и технологии: науч. журнал. – Севастополь: ФГАОУ СевГУ, 2016. – Т.2. – №1. – С. 12-19.
8. Качур С.А. Модуляция сингулярности ядерного реактора вблизи мгновенной критичности// Энергетические установки и технологии: науч. журнал. – Севастополь: ФГАОУ СевГУ, 2015. – Т.1. – №1. – С. 18-26.
9. Качур С.А. Энтропийный анализ безопасности управления ядерным реактором посредством электромагнитного излучения/ С.А. Качур // Пром. теплотехника, 2013. – Т.35, Вып. 4. – С.18-22.
10. Качур С.А. Частотный метод построения систем электромагнитного управления ядерным реактором вблизи мгновенной критичности/ С.А. Качур // Пром. теплотехника, 2013.– Т.35, Вып. 5. – С.27-32.
11. Качур С.А. Движение космического аппарата на основе модуляции кривизны пространства / С.А. Качур // Радиоэлектроника и информатика, 2013. – Вып. 2(21). – С.22-26.
12. Качур С.А. Модуляция кривизны пространства на основе системы ядерных реакторов/ С.А. Качур// Сб.науч.тр.СНУ ЯЭиП – Севастополь: СНУ ЯЭиП, 2014. – Вып. 2(50). – С.13-26.
13. Качур С.А. Движение нерелятивистского объекта в искривленном пространстве ядерного реактора /С.А. Качур // Энергетические установки и технологии: науч. журнал. – Севастополь: ФГАОУ СевГУ, 2016. – Т.2. – №2. – С. 5-10.

References

1. Hawking S., Penrose R. *Prirpda prostranstva i vremeni* [The Nature of Space and Time]. Isevsk, NICH «Regulyarnaya I khaoticheskaya dinamika», 2000, 160 p.
2. Blokhinshev D.N. *Prostranstvo i vremya v mikro-mire* [Space and time in microcosm.] Moscow , Nauka, 1982, 176 p.
3. Novikov I.D., Frolov V.P. *Fizika chyornyh dyr* [Physics of black holes]. Moscow , Nauka, 1986, 328 p.
4. Shklovskij I.S. *Zvyozdy: ih rozhdenie, zhizn' I smert'* [Stars: their birth, life and death]. Moscow, Nauka. 1984, 384p.
5. Weber J. *Obschaya teoriya otноситel'nosti i gravitacionnye volny* [General relativity and gravitational waves]. Moscow, Iz-vo inostr. lit-ry. 1962, 272 p.
6. Kachur S.A. *Upravlenie yadernymi reaktorami na osnove krivizny prostranstva* [Control by nuclear reactors on the basis of space curvature]. Sebastopol: «RIBEST». 2016, 220p.
7. Kachur S.A. Space curvature of nuclear reactor near-by prompt criticality by means of natural spatio-temporal monopole. *Energeticheskie ustanovki i tekhnologii*. 2016, Vol. 2, No 1, pp. 12-19.
8. Kachur S.A. Singularities modulation of nuclear reactor near-by instantaneous criticality. *Energeticheskie ustanovki i tekhnologii*. 2015, Vol. 1, No 1, pp. 18-26.
9. Kachur S.A. Entropic analysis of safety of management by a nuclear reactor by means of electromagnetic radiation. *Promyshlennaya teplotekhnika*, 2013, Vol. 35, No. 4, pp. 18-22.
10. Kachur S.A. Frequency method of construction of the electromagnetic control systems by a nuclear reactor near-by instantaneous criticism. *Promyshlennaya teplotekhnika*, 2013, Vol. 35, No. 5, pp. 27-32.
11. Kachur S.A. Movement of space vehicle on the basis of modulation of space curvature. *Radioelectronika i informatika*, 2013, No. 2(21), pp. 22-26.
12. Kachur S.A. Modulation of space curvature on the basis of the nuclear reactors system. *Sb. nauch. tr. SNUYaE i P*, Sebastopol, SNUYaE i P, 2014, No. 2(50), pp. 13-26.
13. Kachur S.A. Movement of nonrelativistic object in the distorted space of nuclear reactor. *Energeticheskie ustanovki i tekhnologii*. 2016, Vol. 2, No 2, pp. 5-10.

УДК 621.317:006.91

Анализ работы модели вероятностного измерительного контроллера

Е.В. Скрыбина¹, Д.В. Моисеев², В.А. Тяпкина³ФАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, ¹skryabina_ev@mail.ru, ²DVMoiseev@sevsu.ru, ³valya_tyapkina@mail.ru

Статья поступила 25.01.2017 г.; после доработки 27.01.2017 г.

Аннотация

В работе рассматриваются вопросы построения модели вероятностного измерительного контроллера в среде AlteraMax+Plus 2 и сравниваются полученные результаты с аналитической моделью. Полученные результаты свидетельствуют о принципиальной возможности построения вероятностного измерительного контроллера и его использовании в АСУТП.

Ключевые слова: Вероятностная форма представления данных, измерительный контроллер, автоматизированная система управления технологическим процессом.

Analysis of the model of the probability of measuring game-controller

E. V. Skryabina¹, D. V. Moiseev², V. A. Tyapkina³Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia.
¹skryabina_ev@mail.ru, ²DVMoiseev@sevsu.ru, ³valya_tyapkina@mail.ru

Received 25.01.2017 y.; received in final form 27.01.2017 y.

Abstract

The paper deals with the construction of a probabilistic model of the measuring controller in an environment AlteraMax + Plus 2 and compared the results with analytical model. The results obtained-sults show the fundamental possibility of constructing a probabilistic measurement control-ler and its use in the control system.

Keywords: probabilistic form of reporting, measurement controller, automated process control system.

Введение

Контроллеры предназначены для измерения непрерывных сигналов датчиков, представленных напряжением постоянного и переменного тока, постоянным и переменным током и сопротивлением постоянному току, преобразования измеренных значений в значения физических величин, формирования сигналов управления по заданным алгоритмам, приема и передачи информации по последовательным каналам связи [1].

Основная область применения контроллеров – в системах автоматизированного управления технологическим процессом (АСУТП), в том числе, связанных с обеспечением безопасности жизнедеятельности [2].

Контроллеры измерительные МС8 (в даль-

нейшем контроллеры МС8) предназначены для сбора информации и реализации разнообразных алгоритмов автоматизированного управления технологическими процессами, позволяет использовать его как в качестве автономного контроллера, так и объединять нужное количество контроллеров в локальные сети и сложные иерархические системы, осуществлять управление и сбор информации от разнообразных источников (датчиков температуры, давления, расхода, тепло-, водо-, электросчетчиков и т.п.) передачу ее по единому каналу связи [3]:

- измерение и преобразование в цифровую форму сигналов, поступающих от аналоговых и дискретных датчиков технологических параметров;
- формирование дискретных и аналоговых

выходных сигналов для воздействия на технологический процесс;

- реализация алгоритмов функционирования, необходимых для управления конкретными технологическими процессами.

Существует большое разнообразие измерительных контроллеров, которые выполняют функции измерений и контроля технологических процессов. Все они имеют свои особенности применения и ограничения.

Применение вероятностной формы представления и преобразования информации позволяет разрабатывать контроллеры, обладающие неоспоримыми преимуществами перед классическими «цифровыми» аналогами, заключающимися в уменьшенном аппаратном объеме, повышенном быстродействии и высокой помехоустойчивость.

Основная часть

Предлагаемый вероятностный измерительный контроллер может быть использован в обеспечении технологических процессов на АЭС. Такой контролем может быть установлен непосредственно у датчиков и выполнять функции, необходимых алгоритмов.

Вероятностный измерительный контроллер может быть установлен, в частности в системе ПТК УСБ энергоблоков АЭС, которые предназначены для выполнения функций технологических защит и блокировок, дистанционного управления и автоматического регулирования в проектных режимах работы энергоблока и в режимах проектных аварий.

ПТК УСБ выполняет следующие управляющие функции:

- формирование и выдачу сигналов технологических защит и блокировок для автоматического управления исполнительными механизмами в соответствии с технологическими алгоритмами;
- формирование и выдачу выходных дискретных сигналов для автоматического управления исполнительными механизмами при выходе контролируемых технологических параметров за пределы граничных значений в соответствии с заданными алгоритмами;
- дистанционное управление исполнительными механизмами с в соответствии с технологическими алгоритмами;

- выдачу дискретных сигналов в другие системы энергоблока.

ПТК УСБ выполняет следующие функции диагностики:

- самодиагностирование технических, программных средств ПТК УСБ.
- контроль достоверности принимаемых/передаваемых пакетов данных.
- автоматический контроль входных и выходных цепей.

ПТК УСБ выполняет следующие информационные функции:

- сбор, преобразование и визуализация значения и состояния входных непрерывных и дискретных сигналов, получаемых от датчиков технологических параметров;
- отображение, регистрация и архивирование технологической, диагностической информации и действий оператора;
- формирование технологической сигнализации и отображение для операторов;
- отображение данных об условиях срабатывания технологических защит и блокировок;
- полуавтоматическое формирование отчетов.

ПТК УСБ выполняет следующие сервисные функции:

- полуавтоматическую проверку алгоритмов технологических защит и блокировок;
- обеспечение автоматической проверки и опробования технических и программных средств при проведении ПНР;
- проведение полуавтоматической проверки алгоритмов ТЗ и Б и регуляторов (в том числе при работе РУ на мощности);
- обеспечение полуавтоматической метрологической калибровки измерительных каналов ТЗ и Б. Аналитическая модель вероятностного контроллера позволяет многократно с разными начальными параметрами запускать процесс моделирования работы блоков – Блок нормирующих преобразователей и Блок формирования сигналов защит модифицированных с помощью ЦВМП. Вычисляется погрешность в работе с преобразованием вероятностного процессора

Были произведены ряд экспериментов, результаты которых были объединены в таблицы. Все исследования производились с временем работы в 1000 единиц модельного времени с временем обновления равным 1, временем активации и деактивации равным 200. Результаты экспериментов приведены в таблицах 1, 2, 3 и рисунках 1, 2.

Таблица 1. Результаты эксперимента для отклонения = 10

Бит в представлении	Средние ошибки		Превышение диапазона
	Температура	Давление	
512	6,147	119569	45
1024	4,469	87799	8
2048	3,156	63795	0
4096	2,318	41420	0
8192	1,692	30855	0
16384	1,119	20770	0
32768	0,831	15329	0
65536	0,584	10423	0
131072	0,401	7895	0

Таблица 2. Результаты эксперимента для отклонения = 15

Бит в представлении	Средние ошибки		Превышение диапазона
	Температура	Давление	
512	6,202	121071	46
1024	4,474	87002	8
2048	3,113	63848	0
4096	2,329	41015	0
8192	1,669	30627	0
16384	1,12	20654	0
32768	0,826	15661	0
65536	0,584	10423	0
131072	0,408	8093	0

Таблица 3. Результаты эксперимента для отклонения = 20

Бит в представлении	Средние ошибки		Превышение диапазона
	Температура	Давление	
512	6,227	118927	50
1024	4,587	87484	8
2048	3,098	63108	0
4096	2,306	41489	0
8192	1,669	30968	0
16384	1,111	20469	0
32768	0,838	15219	0
65536	0,584	10423	0
131072	0,404	8070	0

Исходя из полученных данных можно

наблюдать зависимость между увеличением количества бит для представления информации и снижением значения погрешности, а также значением количества превышения диапазона.

Увеличение скорости изменений и диапазона изменений в устоявшемся режиме при этом практически перестает влиять.

Можно ограничиться 2048 битами – при этом значении порог в 5 процентов уже с большой вероятностью не преодолевается. А излишнее увеличение количества бит в представлении является лишним, так как не дает большого значения прироста качества преобразования, что можно наблюдать в таблицах при значениях количества бит от 8192.



Рис. 1 – Зависимость погрешности температуры от количества бит в представлении.



Рис. 2 – Зависимость погрешности давления от количества бит в представлении.

Для построения ВАУ необходимо спроектировать генератор псевдослучайных чисел на восемь разрядов. Для данной модели выберем генератор, который выдает число-

вые значения в соответствии с нормальным законом распределения случайной величины. Очевидно, что при синтезе ГПСЧ следует стремиться к получению K_{max} . Из вышеизложенного ясно, что для этого необходимо, чтобы каждый разряд обоих регистров сдвига имел хотя бы одно соединение к сумматорам по mod.2. (см. табл. 4)

Таблица 4. Схема связей

1	2	3	4	5	6	7	
		X	X		X	X	1
	X	X					2
X	X						3

Очередной этап – определение связей от разрядов регистров ко второй группе сумматоров по mod.2, являющихся выходными разрядами генератора. Для этого построим таблицу выходов по уже рассмотренной методике, число строк в которой равняется N , а столбцов – n , то есть 3 и 7. Множество всех клеток таблицы представляет собой совокупность всевозможных выходов. Для получения K линейно независимых выходов заполняются K клеток таблицы 4 с соблюдением следующих условий:

- в каждой диагонали таблицы (верх-вниз-вправо) заполняется не более одной клетки;
- занятые клетки не являются вершинами замкнутого многоугольника.

Заполним таблицу в соответствии с этими рекомендациями. По полученным данным стало возможно спроектировать ГПСЧ средствами AlteraMax+Plus 2. Результат приведен на рис. 3.

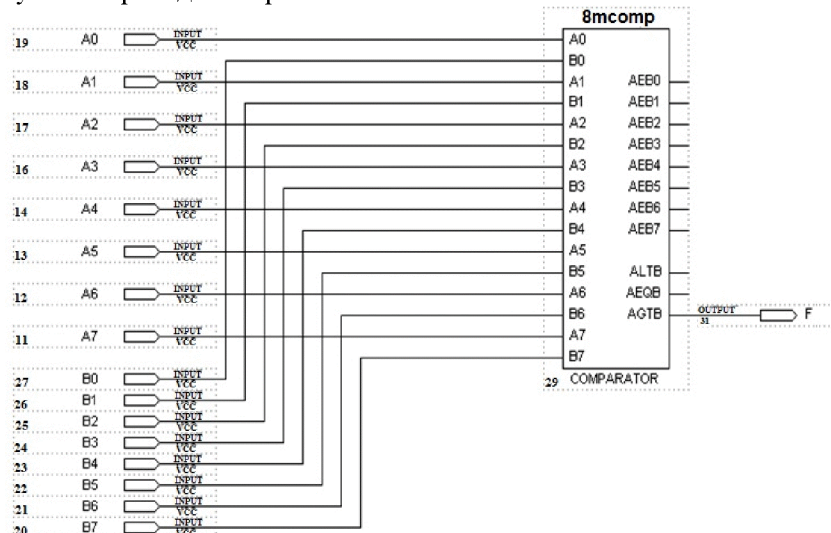


Рис. 4. Реализация компаратора.

Для реализации блока вероятностного преобразования необходимо воспользоваться двумя компараторами, на входы которых будут пода-

ваться синхронизирующий сигнал, вспомогательная случайная величина и приходящие на вход схемы ВАУ два числа. Первое подается на

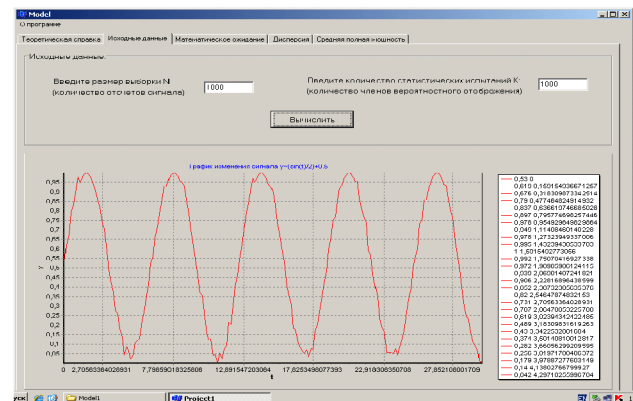


Рис. 3. Моделирование работы ГПСЧ.

Для построения компаратора воспользуемся уже готовым узлом из пакета AlteraMax+Plus 2. Результат приведен на рис. 4.

ваться синхронизирующий сигнал, вспомогательная случайная величина и приходящие на вход схемы ВАУ два числа. Первое подается на

один компаратор, второе - на другой. На выходе схемы на две линии соответственно выдается значение приходящих чисел в вероятностной

последовательной форме. Реализация блока вероятностного преобразования показана на рисунке 5.

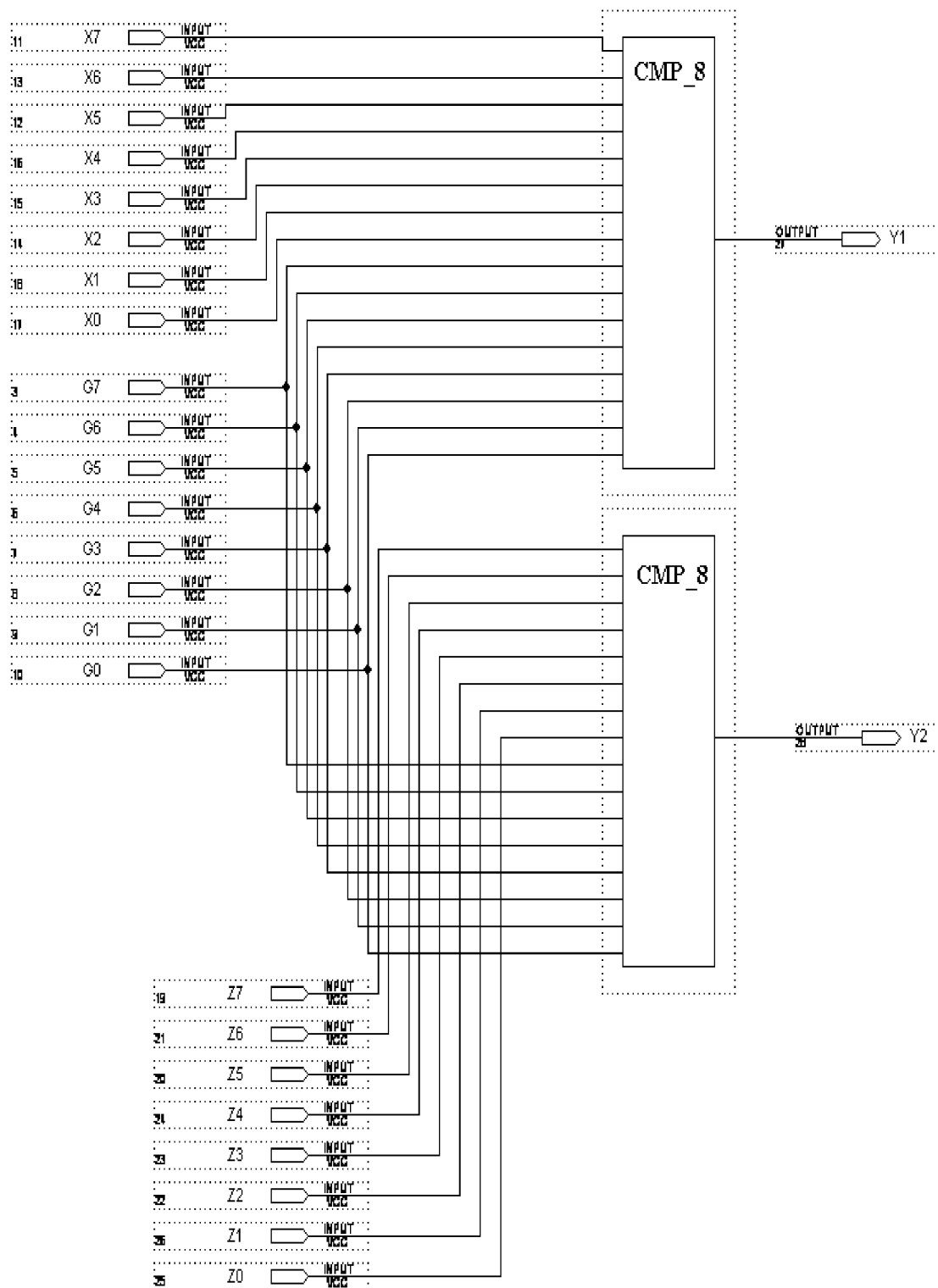


Рис. 5. Реализация блока вероятностного преобразования.

Для реализации результирующего накопительного счетчика воспользуемся встроенными средствами Max+Plus 2, используя схему 16-разрядного

счетчика/реверсивного регистра. На его основе спроектируем 15-разрядный реверсивный счетчик. Результат работы приведен на рис. 6.

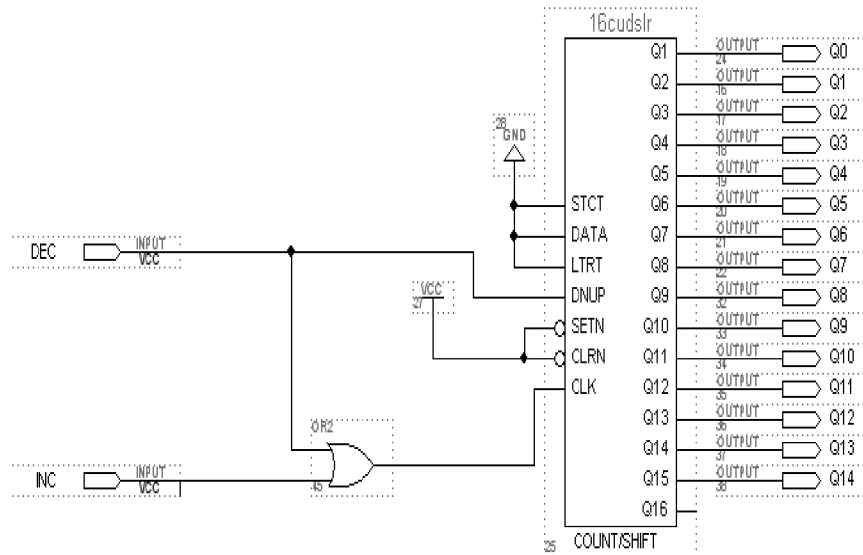


Рис. 6. Реализация 15-разрядного реверсивного счетчика.

На основе синтезированных выше функциональных узлов стало возможно спроектировать схему ВАУ. Принцип построения схемы изло-

жен на чертеже ВАУ приложенном к квалификационной работе. Результат работы показан на рисунке 7.

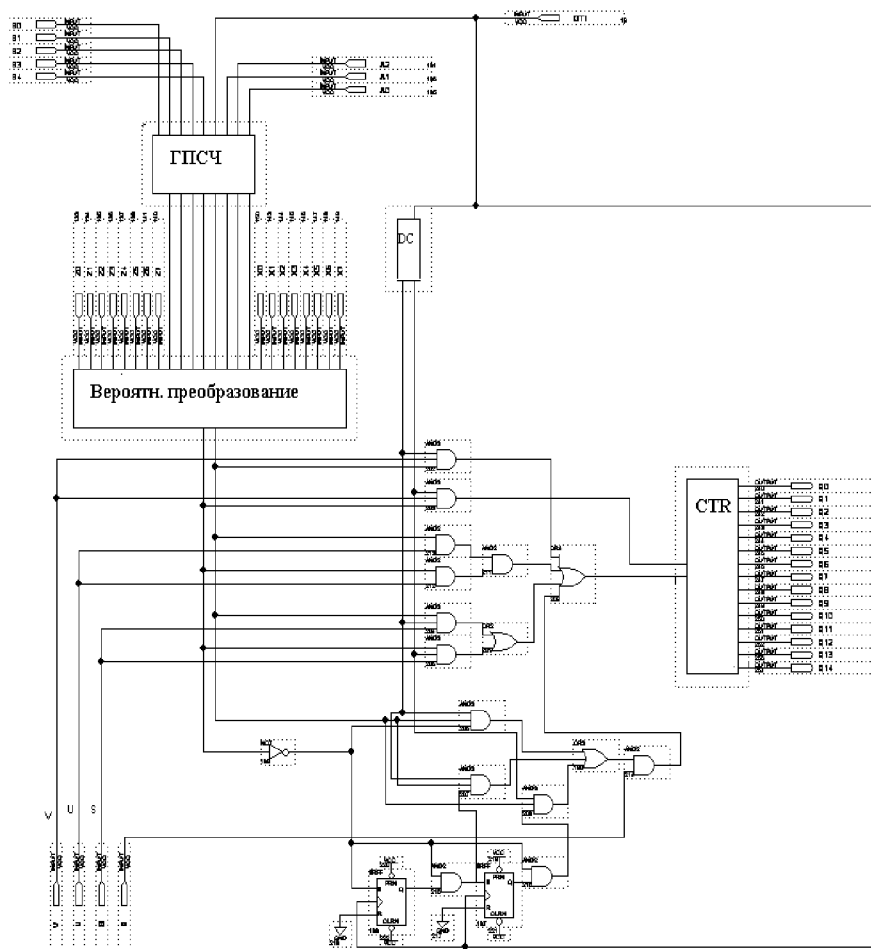


Рис. 7. Реализация ВАУ.

Выводы

Проведем сравнение полученных результатов аналитического (таблица 5) и имитационного (таблица 6) моделирования при разных количествах испытаний K . Как видно из результатов сравнения двух моделирований данные выходят неодинаковыми. Причиной данного различия является генератор псевдослучайных чисел, который рассчитывался и проектировался по методике, изложенной в источнике [3]. Необходимо дополнительно провести его исследование на стохастичность, равномерность и корреляционную зависимость генерируемых чисел.

Таблица 5. Результаты аналитического моделирования

Арифметическая операция	Аналитическое моделирование (C++)		
	$K=10^3$	$K=10^4$	$K=10^5$
$10+21=31$	30,208	31,411	30,889
$5+33=38$	39,168	38,451	37,934
$45-12=33$	33,3	31,8	33,1
$4 \cdot 12=48$	197	32,8	59
$12/3=4$	3,84	3,94	3,87

Таблица 6. Результаты имитационного моделирования

Арифметическая операция	Имитационное моделирование (AlteraMax +Plus 2)		
	$K=10^3$	$K=10^4$	$K=10^5$
$10+21=31$	11,008	10,47	10,4
$5+33=38$	14,85	14,54	14,5
$45-12=33$	41,98	40	40,7
$4 \cdot 12=48$	262	301	301
$12/3=4$	8	4	2

Кроме того, как видно из результатов имитационного моделирования операция деления дает довольно противоречивые сведения. Следует отметить, что алгоритм деления нуждается в доработке и в существующем варианте для построения систем вероятностного деления непригоден.

Список литературы

1. Кабанов А.А. Мера устойчивости к сингулярным возмущениям и робастные свойства линейных систем / А.А. Кабанов, С.А. Дубовик // Проблемы управления и информатики, 2010. – Вып. 3 – С.17 – 28.
2. Поляк Б.Т. Современное состояние метода D-разбиения / Б.Т. Поляк, Е.Н. Грязина, А.А. Тремба // Автоматика и телемеханика. – 2008. – № 11. – С. 3 – 40

3. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ 152-3-Э-ТАИ т. 3 - 2007.

References

1. Kabanov A.A. Measure of stability to singular perturbations and robust properties of linear systems / A.A. Kabanov, A.S. Dubovik // problems of control and Informatics, 2010. – Vol. 3 – p. 17 – 28.
2. Polyak, B.T. Current state of the method of D-partitioning / B.T. Polyak, E.N. Gryazina and A.A. Tremba // Automatics and telemechanics. – 2008. – №. 11. – P. 3 – 40
3. Technical description and manual. Program-TECHNICAL COMPLEX of control SAFETY SYSTEM 152-3-e-TAI vol. 3 - 2007.

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.311

Модернизация частотной делительной автоматики Симферопольской ТЭЦ

Е.В.Гусева¹, К.Л. Ушакова²^{1,2}ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, alenaalena73@mail.ru, ²ksyusha-ushakova14@mail.ru

Статья поступила 30.01.2017 г.; после доработки 01.02.2017 г.

Аннотация

В статье предоставлены основные технические решения по модернизации ЧДА Симферопольской ТЭЦ. Приводятся общие сведения об автоматике ЧДА. Даются рекомендации по модернизации ЧДА. Приводятся технические требования к устройству.

Ключевые слова: ЧДА, ТЭЦ, автоматика.

Modernization of frequency separating automation of Simferopol combined heat and power

E. V. Guseva¹, K. L. Ushakova²^{1,2}Sevastopol State University, 33 Universitetskaya str., Sevastopol, 299053, Russia. alenaalena73@mail.ru,
²ksyusha-ushakova14@mail.ru

Received 30.01.2017 y.; received in final form 01.02.2017 y.

Abstract

This article provides the basic technical solutions for modernization of analytical grade Simferopol TPP. We give an overview of the automation analytical grade. The recommendations on the modernization of analytical grade. The technical requirements for the device.

Keywords: FSA, CHP, automation.

Введение

Симферопольская ТЭЦ имеет установленную электрическую мощность 68/100 МВт (для зимнего и летнего сезонов соответственно) и несет теплофикационную нагрузку в зимний сезон. Одной воздушной линией ТЭЦ подключена к сети 220 кВ, шестью линиями – к сети 110 кВ. Станция также питает местную нагрузку по пяти линиям 35 кВ.

Согласно требованиям стандартам ОАО

«СО ЕЭС» – «Технические правила организации в ЕЭС России автоматического ограничения снижения частоты при аварийном дефиците активной мощности», на всех тепловых станциях мощностью 25 МВт и выше, должна быть установлена частотная делительная автоматика – ЧДА. Назначение ЧДА – сохранение в работе собственных нужд и предотвращение полного останова станции при отказе или недостаточной эффективности АЧР.

На Симферопольской ТЭЦ установлено и

эксплуатируется устройство ЧДА. При срабатывании устройство ЧДА выделяет один из генераторов станции на собственные нужды и нагрузку 35 кВ, что требует глубокого сброса нагрузки с выделяемой турбины и вызывает значительный износ оборудования. Кроме этого, глубокая разгрузка станции негативно сказывается на работе механизмов собственных нужд и даже приводит к их останову, в результате чего успешно приведенное выделение может привести к погашению станции, как показывает опыт эксплуатации. Актами расследования причин технологических нарушений поставлено изменить алгоритм работы ЧДА для выделения на нагрузку, в большей степени соответствующую предшествующей генерации.

На Симферопольской ТЭЦ установлено и эксплуатируется устройство ЧДА. При срабатывании устройство ЧДА выделяет один из генераторов станции на собственные нужды и нагрузку 35 кВ, что требует глубокого сброса нагрузки с выделяемой турбины и вызывает значительный износ оборудования. Кроме этого, глубокая разгрузка станции негативно сказывается на работе механизмов собственных нужд и даже приводит к их останову, в результате чего успешно приведенное выделение может привести к погашению станции, как показывает опыт эксплуатации.

Целью работы является изменить алгоритм работы ЧДА для выделения на нагрузку, в большей степени соответствующую предшествующей генерации. Предлагается заменить устройство ЧДА на новое и изменить логику работы так, чтобы станция выделялась на район 110 кВ, а не только на собственные нужды и линии 35 кВ.

Общие сведения о ЧДА

Сохранение собственных нужд (СН) Симферопольской ТЭЦ является приоритетной задачей при системной аварии. Системной аварией считается снижение частоты до 46 - 47,5 Гц и сопровождающее его снижение напряжения, возникающие вследствие возникновения аварийного дефицита мощности. Снижение частоты приводит к снижению производительности механизмов СН станции и может развиваться лавинообразно; при этом также может возникнуть «лавина напряжения». Эти процессы развиваются настолько быстро, что предотвратить их возможно только действием устройств автоматики.

На случай недопустимого аварийного снижения частоты предусмотрена частотная делительная автоматика – ЧДА, отделяющая станцию от системы для сохранения её СН. Установка ЧДА регламентируется – согласно стандарту

ОАО «СО ЕЭС» «Технические правила организации в ЕЭС России автоматического ограничения снижения частоты при аварийном дефиците активной мощности (автоматическая частотная разгрузка)», ЧДА обязательна для каждой тепловой электростанции, если её выполнение возможно. Невозможность выполнения должна быть обоснована проектом.

Делительная автоматика должна работать при отказе или недостаточной эффективности работы «штатных» сетевых автоматов, реагирующих на снижение частоты (автоматическая частотная разгрузка АЧР) и снижающих дефицит мощности путём отключения нагрузки, а также после того, как проведена форсировка возбуждения генераторов станции. ЧДА является крайней мерой, когда все прочие резервы исчерпаны.

Автоматическое выделение станции является трудной задачей в силу следующих основных факторов:

- 1) для выделения требуется одновременно разорвать все связи выделяемых генераторных блоков с системой;
- 2) выделяемые генераторные блоки должны обладать высокой маневренностью и низким технологическим минимумом;
- 3) требуется глубокая и быстрая разгрузка блоков до нагрузки выделяемого района за время, достаточно короткое для того, чтобы скорость вращения турбин не вышла за допустимую;
- 4) тепловая схема станции должна позволять выделение блоков с их последующей быстрой разгрузкой. Успешность выделения определяется как характеристиками основного оборудования по отдельности, так и его работой в едином технологическом цикле. Технологические защиты также могут накладывать ограничения на работу ЧДА;
- 5) схема СН станции должна быть достаточно гибкой;
- 6) желательна возможность объединения всех или большинства механизмов СН с возможностью подачи на них напряжения от любого из выделяемых блоков;
- 7) должна обеспечиваться балансировка выделенного района по активной и реактивной мощности.

Небаланс активной мощности приведёт к изменению частоты в выделенном районе, дефицит реактивной мощности – к изменению напряжения.

Координация действий делительной автоматики с работой сетевых автоматов обеспечивает

ся следующим образом. При снижении частоты в энергосистеме сначала должна отработать АЧР, и только потом, в случае неэффективности или недостаточности АЧР, работает ЧДА, имеющая более низкие уставки по частоте.

В настоящее время в любой договор о технологическом присоединении и договор на передачу электроэнергии входит пункт о согласии потребителя на внеплановые отключения. Энергоустановки, не допускающие длительных перерывов в питании, должны резервироваться от независимых (автономных) источников, уста-

навливаемых самостоятельно. Перебои питания, вызванные работой устройств ПА, являются неблагоприятным фактором, однако снижение частоты в энергосистеме возникает при серьезных системных авариях. Нарушение работы механизмов СН и, как следствие, потеря генерирующих мощностей на станциях является более опасной ситуацией. Время ликвидации аварии после потери собственных нужд электростанций многократно больше, чем время отключения потребителей от ПА с обратным включением после ликвидации аварии.

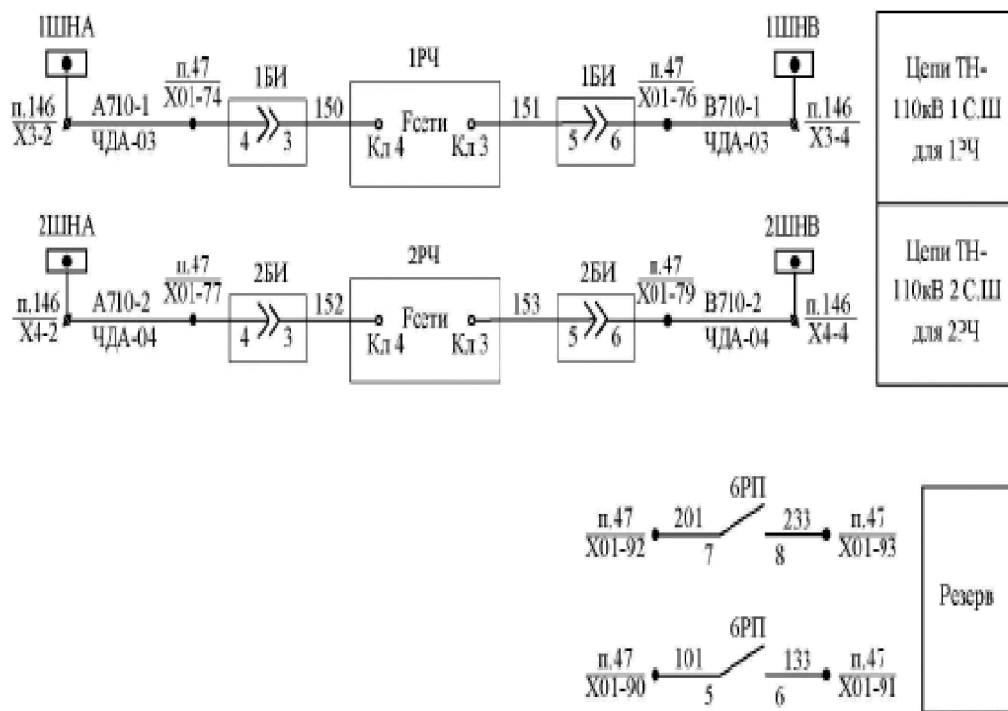


Рис. 1. Принципиально-монтажная схема ЧДА. 1РЧ, 2РЧ – реле частоты унифицированное УРЧ-3М-С; РП1, РП2, 2РП, 4РП – реле промежуточное РП-222; 6РП, 10РП – реле промежуточное РП-23; 1РП, 3РП, 5РП, 7РП, 8РП, 9РП – реле промежуточное РП-252; РП ЧДА – реле промежуточное РПУ-4; 1Б, 2Б, 8...12Б – реле указательное РУ-21; 3Б-1, 2, 3, 4...7Б – реле указательное РУ-21; SF1 – автомат, выключатель Multi9 C60H.

Модернизация ЧДА

Модернизацию ЧДА Симферопольской ТЭЦ предлагается проводить, исходя из следующих соображений:

- 1) следует выделять оба генератора Симферопольской ТЭЦ;
- 2) выделение следует производить путем деления сети 110 кВ;
- 3) устройство ЧДА должно быть установлено на Симферопольской ТЭЦ;
- 4) конфигурация сети для сбалансированного выделения должна выбираться в доаварий-

- ном режиме;
- 5) команды ЧДА на прилежащие подстанции должны передаваться по дублированным каналам связи;
- 6) для замера активной мощности нагрузки на ПС 110 кВ Центральная и ПС 110 кВ Юго-Западная должны использоваться дублированные устройства телемеханики (ТМ).

Для реализации данных требований, предлагается установить на Симферопольской ТЭЦ новое микропроцессорное устройство ЧДА взамен существующего.

Мощность нагрузки выделяемого района

должно определиться как сумма мощностей, потребляемых секциями 110 кВ ПС Центральная и Юго-Западная.

Логика ЧДА должна учитывать возможность отключенного состояния одного из двух генераторов, то есть следует предусмотреть алгоритм для ремонтной схемы.

Предлагается вывести из работы устройства АЧР на двух ПС 110 кВ Центральная и ПС 110 кВ Юго-Западная, и на 2 СШ 35 кВ Симферопольской ТЭЦ.

Технические требования на устройство ЧДА

Устройство ЧДА предназначено для сохранения в работе собственных нужд и предотвращения полного останова электростанции при отказе или недостаточной эффективности устройства АОСЧ путем выделения электростанции, их частей или отдельных энергоблоков на питания собственных нужд или сбалансированный район нагрузки.

Устройство ЧДА должно быть выполнено с использованием микропроцессорного терминала. В терминале ЧДА необходимо наличие свободно конфигурируемой логики.

Устройство ЧДА должно контролировать частоту напряжения на шинах станции. Рекомендуется измерять частоту на шинах связи с энергосистемой и при снижении частоты формировать команды на выделение станции.

В устройстве ЧДА должно быть предусмотрено не менее двух ступеней с уставками по частоте и времени в следующих диапазонах:

- 1 ступень: 46,0-47,0 Гц/0,3-0,5 с;
- 2 ступень: 47,0-47,5 Гц/30-10 с.

Действие ЧДА при снижении частоты ниже уставки срабатывания должно быть направлено на автоматическое изменение конфигурации электрической сети путем отключения соответствующих коммутационных аппаратов.

В том случае, если отключаемое присоединение имеет АПВ, при срабатывании ЧДА команда на отключение присоединения должна выдаваться с запретом АПВ.

В том случае, если под действием АВР отключаемое присоединение будет переведено на питание от другого источника того же дефицитного узла, отключение присоединения должно осуществляться с запретом АВР.

Энергопринимающие установки потребителей в энергорайоне, выделяемом действием ЧДА, не должны подключаться к устройствам ЧАПВ.

В качестве чувствительного органа устройства ЧДА должно содержать орган измерения частоты. Орган измерения частоты должен контролировать изменение частоты и иметь возможность задания уставок по частоте и времени. Диапазон работы по частоте должен составлять $40 \div 60$ Гц.

Кроме чувствительного органа по частоте, устройство ЧДА должно содержать орган расчета мощности, выдаваемой электростанцией. Выдачу мощности станции можно определить как сумму мощностей по трансформаторам связи за вычетом мощности по резервному трансформатору собственных нужд.

В устройстве ЧДА должна быть предусмотрена блокировка при неисправности цепей переменного напряжения.

Заключение

В настоящее время на Симферопольской ТЭЦ установлено и эксплуатируется устройство ЧДА. При срабатывании устройство ЧДА выделяет один из генераторов станции на собственные нужды и нагрузку 35 кВ, что требует глубокого сброса нагрузки выделяемой турбины вызывает значительный износ оборудования. Кроме этого, глубокая разгрузка станции негативно сказывается на работе механизмов собственных нужд и даже приводит к их останову, в результате чего успешно проведенное выделение может перейти в погашение станции, как показывает опыт эксплуатации. Существующая схема выделения обладает значительными преимуществами по сравнению с другими вариантами выделения станции; схема выделения – проста и надежна, так как все коммутации производятся на станции под контролем обслуживающего персонала, но есть ряд серьезных недостатков, к которым можно отнести следующие:

- 1) отключение одного или двух котлов при максимальной нагрузке станции;
- 2) коммутации в схеме собственных нужд;
- 3) в режиме зимнего минимума нагрузки при максимальной загрузке двух турбогенераторов невозможно выделить даже один турбоагрегат на местную нагрузку и СН станции, так как регулировочный диапазон одной турбины составляет всего 5 МВт. В этом случае разгрузить один турбоагрегат с 50 МВт до 18 МВт практически невозможно.

В связи с тем, что данное устройство ЧДА не позволяет выделить оба турбоагрегата на сбалансированную нагрузку энергорайона, предложено новое устройство ЧДА. При выполнении

данной работы были приняты следующие технические решения:

Существующее устройство ЧДА необходимо заменить на новое, на базе микропроцессорного терминала со свободно конфигурируемой логикой.

Предлагаемое устройство ЧДА должно позволить при аварийном снижении частоты в энергосистеме выделять два турбоагрегата Симферопольской ТЭЦ на собственные нужды, местную нагрузку 35 кВ и нагрузку ПС 110 кВ Центральная и Юго-Западная.

В устройстве ЧДА предусмотрен алгоритм определения небаланса мощности между генерацией и потреблением в выделяемом районе.

NC EHNAS.2000. [Ovcharenko NI, Automation of power plants and electric power systems. / Proc-nickname for schools // Ed. Dyakov AF]-s 504.

Список литературы

1. Стандарт организации ОАО «СО ЕЭС» – «технические правила организации в ЕЭС России автоматического ограничения снижения частоты при аварийном дефиците активной мощности СТО 59012820.29.240.001 – 2010.
2. Правила устройства электроустановок /глава 3.3 автоматика и телемеханика. Область применения.– утверждены приказом Минэнерго России от 08.07.2002 №204, с 274-289
3. Кривенков В.В, Противоаварийная автоматика./ П/р Козиса В.Л. - М., Энергоиздат, 1981. - 480 с.
4. Овчаренко Н.И., Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем./ Учебник для вузов// Под ред. Дьякова А.Ф. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС. 2000.-с 504.

References

1. Standart organizacii ОАО «SO EEHS» – «tekhnicheskie pravila organizacii v EEHS Rossii avtomaticheskogo ogranicheniya snizheniya chastoty pri avarijnom deficite aktivnoj moshchnosti [Standard of organization JSC "UES" - "technical rules of the organization in the UES of Russia, reducing the frequency of the automatic limit for emergency deficit of active power] STO 59012820.29.240.001 – 2010, с 274-289.
2. Pravila ustrojstva ehlektroustanovok /glava 3.3 avtomatika i telemekhanika. Oblast' primeneniya [Rules for Electrical / Chapter 3.3 Automation and Remote Control. Area primeneniya.- approved by order of the Ministry of Energy of Russia from 08.07.2002 №204] .– utverzhdeny prikazom Minehnergo Rossii ot 08.07.2002 №204
3. Krivenkov V.V, Protivoavarijnaya avtomatika./ P/r Kozisa V.L. - M., EHnergoizdat, [Krivenkov VV, emergency control. / P / p Kozis VL - M., Energoizdat]1981. - 480 s.
4. Ovcharenko N.I., Avtomatika ehlektricheskikh stancij i ehlektroenergeticheskikh sistem./ Uchebnik dlya vuzov// Pod red. D'yakova A.F.- M.: Izd-vo

УДК 621.658.018

Стабилизация режимов ветроэлектрических станций на асинхронных генераторах

Л. Н. Канов

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

Статья поступила 09.02.2017 г.; после доработки 10.02.2017 г.

Аннотация

Построено математическое описание ветроэлектростанции из двух асинхронных генераторов в виде системы нелинейных алгебраических и дифференциальных уравнений с учетом изменения скорости ветра и вырабатываемой мощности. Обоснована методика стабилизации активной мощности генераторов и компенсации реактивной мощности. Стабилизацию предложено осуществлять изменением углов установки лопастей ветроколеса, а компенсацию – параллельно включаемыми емкостями.

Ключевые слова: ветроэлектрическая установка, асинхронный генератор, скорость ветра, активная мощность, реактивная мощность, стабилизация, компенсирующая емкость, угол установки лопастей.

Stabilization of the Regime of Windelectrical Settings by Asynchronous Generators

L. N. Kanov

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

Received 09.02.2017 y.; received in final form 10.02.2017 y.

Abstract

Mathematical description of windelectrical station is built from two asynchronous generators type of the system of nonlinear algebraic and differential equalizations taking into account a change speed of wind and produced power. The method is grounded with the purpose of stabilizing of active power of generator end compensation reactive powers. It is suggested to carry out stabilizing the change of corners of setting of blades of windwheel and compensation – shunting capacitors.

Keywords: windelectrical setting, asynchronous generator, speed of wind, active power, reactive power, stabilizing, compensation capacitor, corner of setting of blades.

Введение

Ветроэлектроэнергетика является приоритетным направлением в комплексе развития нетрадиционных источников электроэнергии. В состав ветроэлектрических станций (ВЭС) входят несколько ветроэлектрических установок (ВЭУ), электроэнергия которых подается на сборные шины и далее в энергосистему. Расположение ВЭУ по территории обуславливает индивидуальные вет-

ровые условия на каждой ВЭУ. Взаимная связь ВЭУ зависит от параметров силовых кабелей и арматуры, поэтому задача исследования и стабилизации режимов совместной работы ВЭУ в составе ВЭС является актуальной.

Режимы работы единичных ВЭУ на сеть изучены в [1–4], подробный обзор приведен в [5]. В то же время, параллельная работа ВЭУ в составе ВЭС освещена недостаточно. Так, в [6] исследованы

вопросы компенсации реактивной мощности в условиях независимых ВЭУ на основе стохастического анализа. В [7] выполнен анализ режимов локальной сети, включающей наряду с ВЭУ тепловые электростанции. Управление ветрогенераторами описано в [8], однако сложный алгоритм управления представляет определенные трудности для применения. В [9] приведено математическое описание ВЭС из двух генераторов на основе численной аппроксимации зависимостей их ЭДС от скоростей вращения, компенсирующих емкостей и углов установки лопастей ветроколес. Подобный подход также неудобен для применения, так как требует перестроения аппроксимаций ЭДС при всяком изменении параметров ВЭС.

Целью статьи является построение свободного от отмеченных недостатков математического описания и методики стабилизации ВЭУ в составе ВЭС по активной и реактивной мощности на основе теории инвариантов [10].

Математическое описание ВЭС

Рассмотрим ВЭС из одинаковых асинхронных генераторов (АГ), работающих параллельно на сеть. Без потери общности ограничимся двумя генераторами. Для удобства анализа применим Г-образную схему замещения АГ [11]. Упрощенная схема ВЭС в соответствии с общепринятыми обозначениями [1–5] изображена на рис.1. Схема легко обобщается на большее число генераторов.

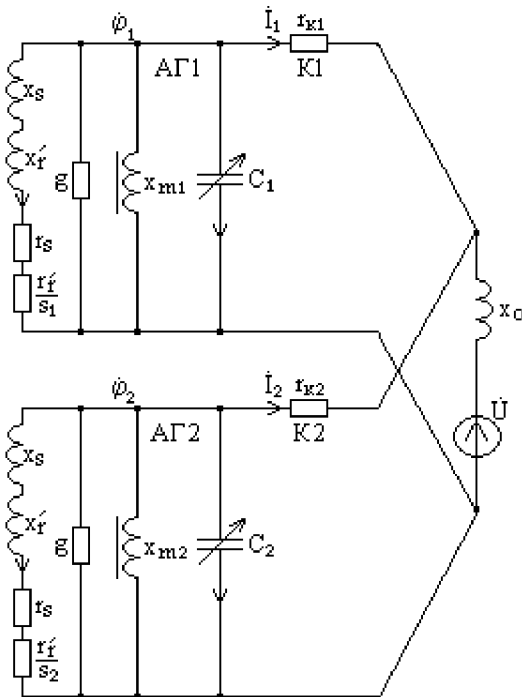


Рис.1. Схема замещения ветроэлектростанции

На рисунке обозначены r'_r, r'_s, x'_r, x'_s – со-противления и реактивности фазы генератора; g, x_m – проводимость потерь в стали и реак-тивность намагничивания; C_1, C_2 – емкости – источники реактивной мощности; x_0, r_{ki}, x_{ki} , $i = 1, 2$ – сопротивления и реактивности кабе-лей и обмотки; U – напряжение сети. Коэф-фициент пересчета для Г-образной схемы заме-щения АГ положен единичным [11]. потенциа-лы узлов ϕ_1, ϕ_2 представляют напряжения ге-нераторов; ϕ_0 – напряжение на общих шинах. Реактивности намагничивания вследствие насыщения зависят от ЭДС генераторов $e_{1,2} = |\phi_{1,2}|$ и аппроксимируются выражением

$$\frac{1}{x_m(\phi)} = \frac{1 + e^{b(\phi - U_0)}}{a \cdot \omega},$$

где a, b, U_0 – коэффициенты аппроксимации.

Скопления генераторов определяются вы-ражениями

$$s_i = 1 - \frac{p\Omega_i}{\omega}, \quad i = 1, 2;$$

где p – число, зависящее от количества пар по-люсов и коэффициента механической передачи от веег роколеса;

Ω_i – угловые скорости вращения ветро-колес.

В сеть передается активная мощность $P_{сети}$, вырабатываемая генераторами $P_{ri}, i = 1, 2$ за вычетом потерь в обмотках P_{si} , стали P_g и в сопротивлениях кабелей $P_{ki}, i = 1, 2$. Реактивная мощность потребляет-ся роторами генераторов Q_{ri} , обмотками ста-торов Q_{si} , реактивностями намагничивания Q_{mi} и обмоткой Q_0 . Емкости генерируют ре-активную мощность Q_{ci} ; ее небаланс передат-ся в сеть $Q_{сети}$. Мощности, вырабатываемые АГ, определяются выражениями $S_1 = -\phi_1 \mathbf{f}_1 = P_1 + jQ_1, S_2 = -\phi_2 \mathbf{f}_2 = P_2 + jQ_2$.

Электрическая часть ВЭС по рис.1 описы-вается нелинейными комплексными алгебраи-ческими уравнениями относительно потенциа-лов узлов ϕ_1, ϕ_2 на основе метода узловых по-тенциалов [2]

$$\left. \begin{aligned} Y_{11}\Phi_1 - g_{k1}\Phi_0 &= 0; \\ Y_{22}\Phi_2 - g_{k2}\Phi_0 &= 0; \\ -g_{k1}\Phi_1 - g_{k2}\Phi_2 + (g_{k1} + g_{k2} - jb_0) &= -jb_0U \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где

$$Y_{ii} = \left(r_s + \frac{r'_r}{s_i} + jx \right)^{-1} + g + \frac{1}{jx_m(\Phi_i)} + g_{ki} + jb_i,$$

$$x = x_s + x'_r, \quad g_{ki} = \frac{1}{r_{ki}}, \quad b_0 = \frac{1}{x_0},$$

$$b_i = \omega C_i, \quad i = 1, 2.$$

Механическую динамику представляют уравнения равновесия моментов

$$J \frac{d\Omega_i}{dt} + k_{mp}\Omega_i + M_{эм i} = M_{вк i}, \quad i = 1, 2, \quad (2)$$

$$\text{где } M_{эм i} = - \frac{3p|\dot{\phi}_i|^2 r'_r \cdot (\omega - p\Omega_i)}{[x'_r \cdot (\omega - p\Omega_i)]^2 + (\omega r'_r)^2} - \text{элек-}$$

тромагнитные моменты генераторов;

$M_{вк i}$ – вращающие моменты ветроколес,

определяемые удельным моментом

$M_0(z_i, \alpha_i)$ и зависящие от их диа-

метров D_i , скоростей ветра V_i и

плотности воздуха ρ [5]

$$M_{вк i} = M_0(z_i, \alpha_i) V_i^2 \frac{\pi D_i^3 \rho}{16};$$

$$z_i = \frac{0,5 D_i \Omega_i}{V_i} - \text{коэффициент быстроход-}$$

ности;

α_i – углы установки лопастей;

k_{mp} – коэффициент трения;

J – момент инерции.

При заданном диаметре момент ветроко-
са является функцией трех переменных
 $M_{вк i}(\Omega_i, \alpha_i, V_i)$ и описывается сплайн – ап-
проксимацией [2]. Уравнения (1) – (2) представ-
ляют упрощенное математическое описание
ветроэлектростанции из двух одинаковых ВЭУ,
работающих параллельно на сеть.

Расчет режима ВЭС

Аналитическое решение уравнений (1), (2)
невозможно, численное – затруднено необхо-
димостью совместного решения нелинейных,
комплексных алгебраических (1) и дифферен-
циальных (2) уравнений. Предлагаемый подход
к преодолению этого затруднения основан на
теории инвариантов [10]. При таком подходе

нелинейные, комплексные алгебраические
уравнения (1) преобразуются в дифференциаль-
ные уравнения для модулей потенциалов
 Φ_1, Φ_2 и решаются совместно с уравнениями
механической динамики (2).

Из третьего уравнения (1) выразим потен-
циал Φ_0 и подставим в первые два уравнения

$$\Phi_i Y_{ii} = \frac{-jUb_0 g_{ki}}{g_{k1} + g_{k2} - jb_0 - \frac{g_{k1}^2}{Y_{11}} - \frac{g_{k2}^2}{Y_{22}}}, \quad i = 1, 2.$$

Приравнявая модули правых и левых ча-
стей, получаем алгебраические уравнения для
модулей потенциалов Φ_1, Φ_2

$$\Phi_i^2 |Y_{ii}|^2 - \frac{(Ub_0 g_{ki})^2}{N_1^2 + N_2^2} = 0, \quad i = 1, 2, \quad (3)$$

$$\text{где } N_1 = g_{k1} + g_{k2} - \frac{g_{k1}^2 \operatorname{Re} Y_{11}}{|Y_{11}|^2} - \frac{g_{k2}^2 \operatorname{Re} Y_{22}}{|Y_{22}|^2},$$

$$N_2 = -b_0 + \frac{g_{k1}^2 \operatorname{Im} Y_{11}}{|Y_{11}|^2} + \frac{g_{k2}^2 \operatorname{Im} Y_{22}}{|Y_{22}|^2}.$$

Для численного решения уравнений (3)
обозначим их левые части через
 f_1, f_2 : $f_1 = 0, f_2 = 0$. Подчиним f_1, f_2
устойчивым дифференциальным уравнениям

$$T_1 \frac{df_1}{dt} + f_1 = 0, \quad T_2 \frac{df_2}{dt} + f_2 = 0. \quad (4)$$

Положительные коэффициенты T_1, T_2
регулируют скорость стремления f_1, f_2 к ну-
лю. Производные в (4) имеют вид

$$\frac{df_i}{dt} = \frac{\partial f_i}{\partial \Phi_j} \frac{d\Phi_j}{dt} + \frac{\partial f_i}{\partial b_j} \frac{db_j}{dt} + \frac{\partial f_i}{\partial \Omega_j} \frac{d\Omega_j}{dt}; \quad i, j = 1, 2.$$

Подставив f_1, f_2 из (3) и производные из
последнего выражения в (4), с учетом (2) полу-
чаем систему устойчивых дифференциальных
уравнений для модулей потенциалов

$$\frac{d\Phi_1}{dt} = \frac{\Delta_1(\Phi_1, \Phi_2)}{\Delta(\Phi_1, \Phi_2)}, \quad \frac{d\Phi_2}{dt} = \frac{\Delta_2(\Phi_1, \Phi_2)}{\Delta(\Phi_1, \Phi_2)}, \quad (5)$$

$$\text{где } \Delta(\Phi_1, \Phi_2) = \frac{\partial f_1}{\partial \Phi_1} \frac{\partial f_2}{\partial \Phi_2} - \frac{\partial f_1}{\partial \Phi_2} \frac{\partial f_2}{\partial \Phi_1};$$

$$\Delta_1(\Phi_1, \Phi_2) = F_1 \frac{\partial f_2}{\partial \Phi_2} - F_2 \frac{\partial f_1}{\partial \Phi_2};$$

$$\Delta_2(\Phi_1, \Phi_2) = F_2 \frac{\partial f_1}{\partial \Phi_1} - F_1 \frac{\partial f_2}{\partial \Phi_1};$$

$$F_i = - \frac{\partial f_i}{\partial b_j} \frac{db_j}{dt} - \frac{\partial f_i}{\partial \Omega_j} \frac{d\Omega_j}{dt} - \frac{f_i}{T_i}; \quad i, j = 1, 2.$$

Таким образом, для расчета режима ВЭС при заданных скоростях ветра $V_1(t), V_2(t)$ располагаем двумя уравнениями (5) и двумя уравнениями (2). Добавим к ним еще три пары вспомогательных дифференциальных уравнений для задания емкостных проводимостей b_1, b_2

$$\frac{db_i}{dt} = u_{bi}, \quad (6)$$

углов установки лопастей ветроколес α_1, α_2

$$\frac{d\alpha_i}{dt} = u_{\alpha i} \quad (7)$$

и, при необходимости – длин лопастей d_1, d_2

$$\frac{dd_i}{dt} = u_{di}, \quad i = 1, 2. \quad (8)$$

Функции в правых частях уравнений (6)...(8) задаются произвольно в зависимости от цели расчета: моделирование режима при заданных скоростях ветра или его стабилизация по активной и реактивной мощности.

На рис.2 приведены графики параметров режима ВЭС, рассчитанные по уравнениям (2), (5)...(8) при неизменных величинах емкостей, углов установки и длинах лопастей: $u_{bi} = 0, u_{\alpha i} = 0, u_{di} = 0; i = 1, 2$. Расчет выполнен при следующих типичных параметрах АГ: $r_s = r'_r = 0,09 \text{ Ом}; x = 2,2 \text{ Ом}; x_0 = 0,02 \text{ Ом}; g = 0,01 \text{ См}; b_1 = b_2 = 0,06 \text{ См}; p = 20; g_{k1} = g_{k2} = 20 \text{ См}; a = 0,085; b = 0,025; U_0 = 250; T_1 = T_2 = 0,2; \alpha_1 = \alpha_2 = 25^\circ; d_1 = d_2 = 2,25 \text{ м};$ напряжение сети $U = 220 \text{ В}, 50 \text{ Гц}$.

Рисунок показывает, что при $t > 0,6 \text{ мин}$ наблюдаем $f_i \rightarrow 0, i = 1, 2$, т.е. решения уравнений (2), (5) дают точные значения модулей потенциалов ϕ_1, ϕ_2 и скоростей вращения ветроколес с изменением скоростей ветра. На рисунке обозначены скольжения генераторов s_1, s_2 и отклонения напряжений генераторов от напряжения сети $\Delta U_1, \Delta U_2$, увеличенные для наглядности в 100 раз.

Из рисунка следует, что работа ВЭС нестабильна: при изменениях скоростей ветра на ВЭУ имеют место существенные колебания активных и реактивных мощностей.

В отдельные интервалы времени ВЭС потребляет из сети значительную реактивную мощность.

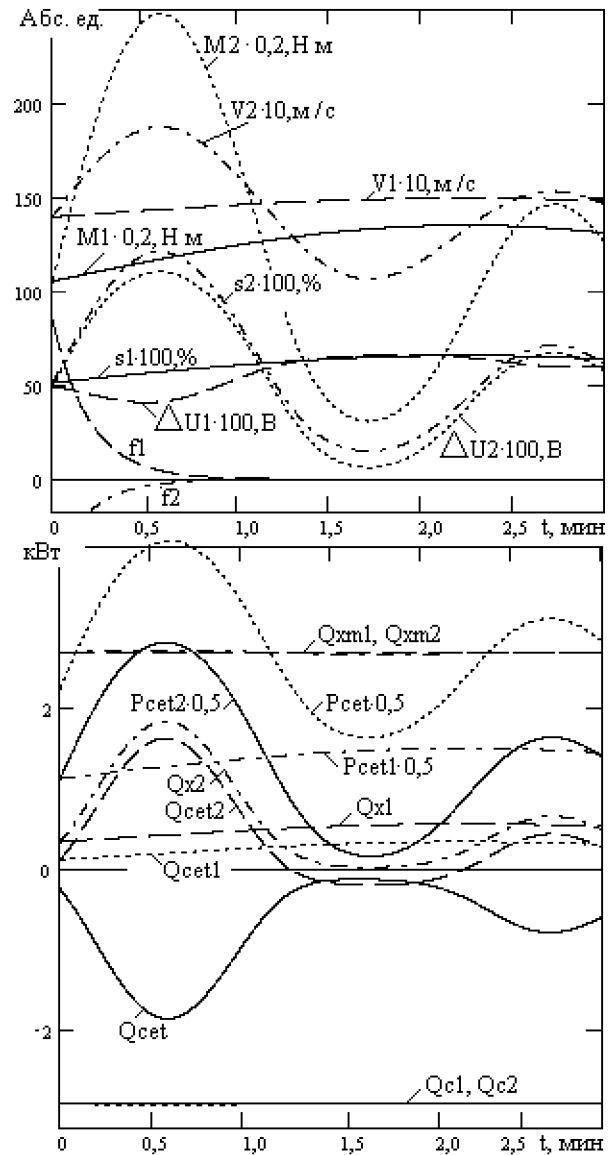


Рис.2. Параметры нерегулируемого режима

Стабилизация режима ВЭС

Наиболее простым способом поддержания мощностей АГ на желаемых уровнях является управление ВЭС по отклонению. Для компенсации реактивной мощности задаем правые части уравнений (6) в виде $u_{bi} = k_{bi} Q_i$. При дефиците реактивной мощности проводимости емкостей увеличиваются, при избытке – сокращаются. В целом реактивная мощность ВЭС поддерживается на нулевом уровне.

Необходимая величина активной мощности регулируется углами установки лопастей ветроколес α_1, α_2 и их длинами d_1, d_2 .

Правые части уравнений (7), (8) задаются в виде $u_{\alpha i} = k_{\alpha i} (P_i - P_{i0}), u_{di} = k_{di} (P_{i0} - P_i)$,

где P_{i0} – желаемые уровни вырабатываемой активной мощности.

Таким образом, при дефиците активной мощности углы установки уменьшаются, а длины лопастей увеличиваются и наоборот.

На рис. 3 изображены графики стабилизированного режима ВЭС для тех же скоростей ветра, что и на рис. 2 при следующих коэффициентах:

$$k_{bi} = 5 \cdot 10^{-4},$$

$$k_{ai} = 0,5, k_{di} = 0.$$

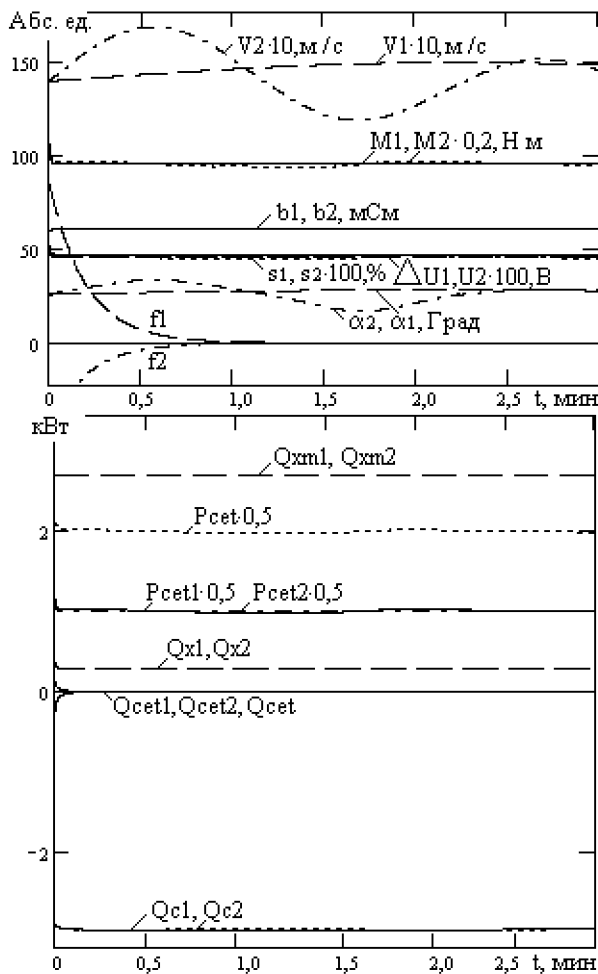


Рис.3. Стабилизация режима по отклонению

Как и прежде, рисунок показывает, что при $t > 0,6$ мин $f_i \rightarrow 0$, $i = 1, 2$, т.е. решения уравнений дают точные значения модулей потенциалов φ_1 , φ_2 и скоростей вращения ветроколес. Графики показывают, что стабилизация в целом выполняется.

Скольжения генераторов поддерживаются на уровне 0,5%. Небольшие колебания активной мощности сохраняются вследствие инерцион-

ности ветроколеса и механизма установки лопастей.

Более точное регулирование мощностей получаем в виде учета условий $Q_1 = Q_2 = 0$ и $P_i = P_{i0}$, $i = 1, 2$ непосредственно в уравнениях (2), (5)...(8). Реактивная мощность АГ определяется выражением $Q_i = \text{Im}(\varphi_i^2 Y_{ii}) = 0$, что дает условие для проводимостей компенсирующих емкостей

$$b_i = \frac{1}{x_m(\varphi_i)} + \frac{x}{\left(r_s + \frac{r'_r \omega}{\omega - p\Omega_i}\right)^2 + x^2}, i = 1, 2. \quad (9)$$

Аналогично, задание активной мощности АГ в виде $P_i = P_{i0} = \text{Re}(\varphi_i^2 \cdot (Y_{ii} - g_{ki}))$ дает условие для подсчета необходимых скоростей вращения ветроколес

$$g + \frac{r_s + \frac{r'_r \omega}{\omega - p\Omega_i}}{\left(r_s + \frac{r'_r \omega}{\omega - p\Omega_i}\right)^2 + x^2} + \frac{P_{i0}}{\varphi_i^2} = 0, i = 1, 2. \quad (10)$$

Таким образом, из уравнений (1) исключаются такие переменные, как Ω_i , и отпадает необходимость решения уравнений (2). После решения уравнений (1) относительно модулей потенциалов φ_1 , φ_2 из (10) находим скорости Ω_1 , Ω_2 . Далее с учетом (2) определяем моменты ветроколес $M_{BK i} = M_{ЭМ i} + k_{mp} \Omega_i$ и с использованием скоростей ветра V_1, V_2 подсчитываем необходимые углы установки лопастей α_1 , α_2 и их длины. Требуемые величины компенсирующих емкостей C_1, C_2 находим из условия (9).

На рис. 4 изображены графики стабилизированного режима рассматриваемой ВЭС для $P_{10} = P_{20} = 2$ кВт. Графики показывают, что стабилизация выполняется при неизменной длине лопастей только изменением углов установки.

На рисунке графики зависимостей углов установки изображены в ступенчатом виде. Это объясняется тем, что механизм установки лопастей работает дискретно, изменяя угол, в нашем случае, на 0,5 градуса. Для наглядности графики углов показаны увеличенными в пять раз. Алгоритм вычисления угла приведен на рис.5. От максимального значения угол дискретно

уменьшается до тех пор, пока момент ветроколеса не достигнет значения, при котором вырабатывается заданная мощность. Для упрощения при расчете не учитывается динамическая составляющая момента.

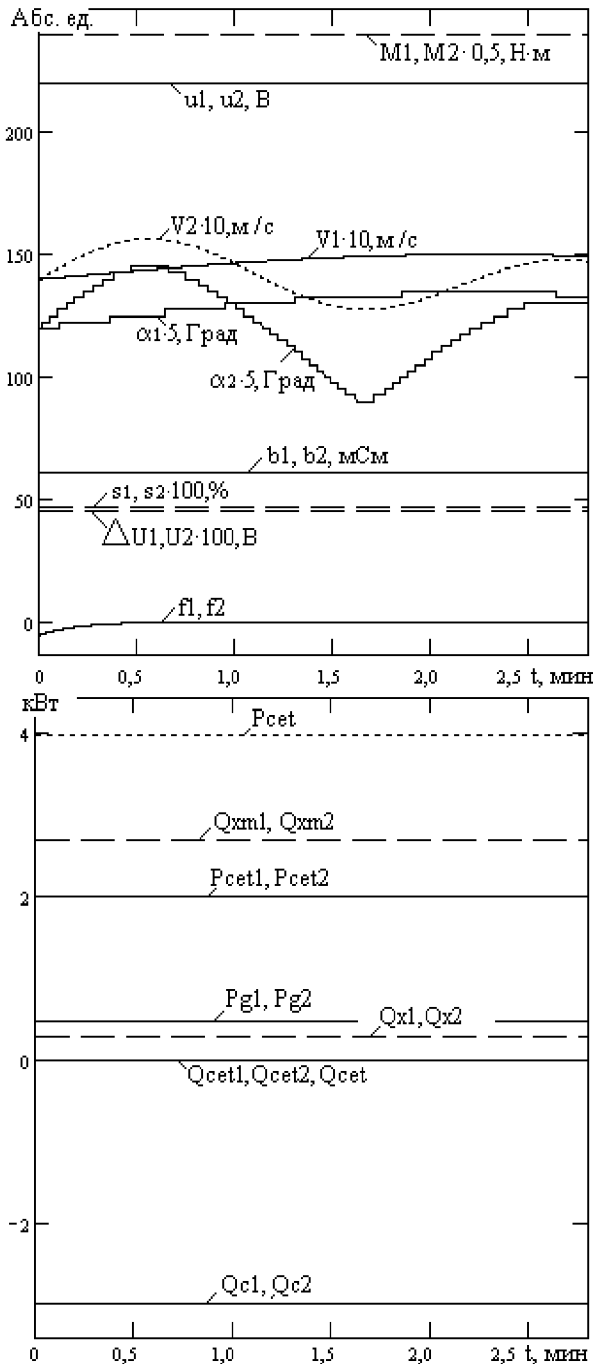


Рис.4. Точная стабилизация режима

При невозможности обеспечения требуемой мощности уменьшением углов установки возможно включение механизмов выдвижения лопастей ветроколеса с целью увеличения его диаметра, так как вращающий момент ветроко-

леса при этом увеличивается. Рис.4 показывает также, что компенсация реактивной мощности достигается сравнительно небольшими отклонениями емкостей компенсирующих конденсаторов.

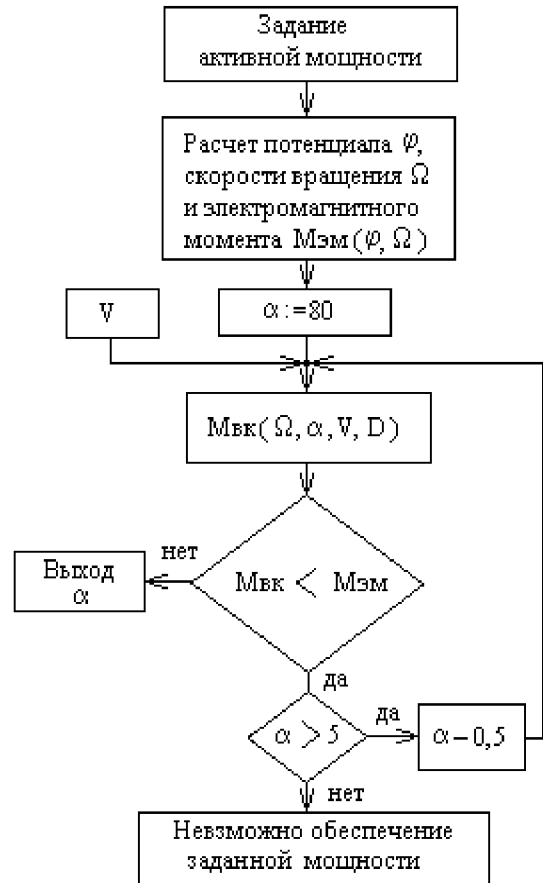


Рис.5. Вычисление оптимального угла установки

Выводы

Предложен метод математического описания режима ветроэлектростанции, основанный на теории инвариантов и замене нелинейных комплексных алгебраических уравнений дифференциальными относительно модулей напряжений генераторов в зависимости от скоростей ветра. Показана возможность стабилизации режима по активной и реактивной мощности. Достоинством предлагаемого метода является отсутствие необходимости решения совместно систем нелинейных комплексных алгебраических и дифференциальных уравнений. Метод обобщается на случай анализа ВЭС из нескольких ветроэлектрических установок.

Перспективной задачей в этом направлении является анализ и стабилизация режимов ВЭС, работающей автономно на активно – индуктивную нагрузку, а также реализация системы управления стабилизацией режима.

Список литературы

1. Олейников А.М. Математическое моделирование ветроэлектрической установки с автономным асинхронным генератором малой мощности под резистивной нагрузкой / А.М.Олейников, Л.Н.Канов, М.С.Мирошниченко. – Материалы XII Международной научно-технической конференции «Проблемы повышения эффективности электромеханических преобразователей в электроэнергетических системах». – Севастополь, 23-27 сентября 2013 г. – Севастополь: СевНТУ, 2013. – С.177-180.
2. Канов Л.Н. Математическое моделирование ветроэлектрической установки с асинхронным генератором / Л.Н.Канов // Электротехника и электромеханика. – 2012. – № 5. – С.71-74.
3. Буяльский В.И. Повышение эффективности управления ветротурбиной / В.И.Буяльский // Вестник СевГТУ. Сер. Механика, энергетика, экология: сб. науч. тр. – Севастополь: изд-во СевНТУ. – 2008. – Вып. 88 – С.152-156.
4. Зубова Н.В. Анализ приоритетности контуров управления ветроэнергетической установкой/ Н.В. Зубова, С.Н. Удалов, В.В. Манусов// Электро. – 2015. – № 6. – С.27-31.
5. Кривцов В.С. Неисчерпаемая энергия. Ветроэнергетика/ В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. – Харьков: изд-во ХАИ, 2004. – 519 с
6. Даниленко А.И. Анализ перетоков реактивной энергии на промышленной ветровой электростанции с асинхронными генераторами / А.И.Даниленко // Оптимизация производственных процессов: сб. науч. тр. – Севастополь: изд-во СевНТУ, 2005. – № 8. – С. 58-64.
7. Еникеев Т.У. Оптимизация режимов локальной электрической сети на базе ветроэлектрических установок / Т.У.Еникеев, В.Н.Ефанов. – Известия ВУЗов. Сер. Электромеханика. – 2010. – №4. – С.35-39.
8. Канов Л.Н. Управление мощностями ветрогенераторов в составе ветроэлектрической станции / Л.Н.Канов, Т.И.Тимофеева, Е.А.Шушляпин // Вестник СевНТУ: сб. науч. тр. Вып. 154/2014. Сер. Автоматизация процессов и управление. – Севастополь, 2014. – С.150-155.
9. Канов Л.Н. Оптимизация режимов ветроэлектрических установок в системе распределенного электроснабжения / Л.Н.Канов // Информационные технологии и управление. – 2016. – № 3. – С. 22-27.
10. Синергетические методы управления сложными системами: механические и электромеханические системы/ Под ред. А.А.Колесникова. – М.: изд-во «КомКнига», 2006. – 304 с.
11. Герман – Галкин С.Г. Электрические машины: лабораторные работы на ПК / С.Г.Герман-Галкин, Г.А.Кардонов. – СПб.: изд-во «КОРОНА принт», 2013. – 256 с.

References

1. Oleynicov A.M., Kanov L.N., Miroshnichenko M.S. Mathematical modeling of the windelectrical setting with the autonomous asynchronous generator of small-power under the capacitance-resistance loading. *Materialy XII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Problemy povysheniya effektivnosti elektromekhanicheskikh preobrazovateley v elektroenergeticheskikh sistemah"* [Proceedings of the XII International Scientific and Technical Conference "Problem of increase of efficiency of electromechanics transformers are in the electro-energy systems"], Sevastopol', SevNTU Publ., 2013, pp.177-180.
2. Kanov L.N. Mathematical modeling electrical setting with an asynchronous generator. *Elektrotehnika i elektromekhanika*, 2012, No. 5, pp. 71-74.
3. Buualskii V.I. Optimization of the system of control the windelectric setting. *Vestnik SevNTU. Ser. Mekhanika, energetika, ekologiya*. [Announcer SevNTU. Series Mechanics, energy, ecology], Sevastopol', SevNTU Publ., 2008, Issue 88, pp. 152-156.
4. Zubova N.V., Udalov S.N., Manusov V.V. Analysis of priority of contours of control the windenergy setting. *Electro*, 2015, No. 6, pp.27-31.
5. Krivtsov V.S., Oleinikov A.M., Uakovlev A.I. *Neischerpaemaya energiia. Vetroenergetika* [Inexhaustible energy. Vetroenergetika]. Harcov, HAI Publ., 2004, 519 p.
6. Danilenko A.I. Analysis of crossflows of reactive energy on industrial wind power-station with asynchronous generators. *Optimizatsiya proizvodstvennykh protsessov* [Optimization of Production Processes], Sevastopol', SevNTU Publ., 2005, Issue 8, pp. 58-64.
7. Enikeev T.U. Optimization of the regimes of local electric network on the base of windenergy setting. *Izvestiia VUZov. Ser. Elektromekhanika*, 2010, No. 4, pp. 35-39.
8. Kanov L.N., Timofeeva T.I., Shushluapin E.A. Control of powers windgeneratprs in composition the windelectrical station. *Vestnik SevNTU. Ser. Avtomatizatsiia protsessov i upravlenie*. [Announcer SevNTU. Series Automation of processes and control], Sevastopol', SevNTU Publ., 2014, Issue 154/2014, pp. 150-155.
9. Kanov L.N. Optimization of the regims of windelectrical setting in the system of up-diffused electro-supply. *Informatcionnye tehnologii i upravlenie*, 2016, No. 3, pp. 22-27.
10. *Sinergeticheskie metody upravleniya slozhnykh sistem: mekhanicheskie i elektromekhanicheskie sistemy* [Synergetics methods of control the difficult systems: mechanical and electromechanics systems]/Editing by A.A.Kolesnikov. Moscow, Com-Book Publ, 2006, 304 hh.
11. German–Galkin S.G., Kardonov G.A. *Elektricheskie mashiny: laboratornye raboty na PK* [Electric machines: laboratory works on the PC]. Saint Petersburg. Korona Publ., 2013, 256 pp.

НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

УДК 620.9:33

**Прозрачные защитные покрытия для
комбинированных солнечных установок**В.В. Кувшинов¹, Е.Г. Какушина², Д. Д. Смирнова³.ФАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, ¹kuvshinov.vladimir@gmail.com, ²little@mail.ru, ³smirnova@mail.ru

Статья поступила 13.02.2017 г.; после доработки 15.02.2017 г.

Аннотация

В предложенной статье описываются исследования, проведенные на кафедре «Возобновляемых источников энергии и электрических систем и сетей», по определению пропускательной способности защитных прозрачных покрытий для солнечных установок.

Ключевые слова: термофотовольтаическая установка, кремниевый фотовольтаический модуль, гелиоколлектор, фоторезистор, фотовольтаический модуль.

Using thermo-photovoltaic plants for heat and electricity to SevastopolV.V. Kuvshinov¹, E.G. Kakushina², D. D. Smirnova³

Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia.

¹kuvshinov.vladimir@gmail.com, ²little@mail.ru, ³smirnova@mail.ru

Received 13.02.2017 y.; received in final form 15.02.2017 y.

Abstract

In the proposed article describes research conducted at the Department of "Renewable energy and electric systems and networks", by determining the ability of the protective transmittance of transparent coatings for solar installations.

Keywords: thermophotovoltaic installation, silicon photovoltaic module, Solar collector, photoelectric cell, solar module.

Введение

С недавнего времени солнечные установки для выработки электроэнергии и получения тепла и горячей воды прочно вошли в наш быт.

В настоящее время в основном для этих целей используются кремниевые фотовольтаические модули и гелиоколлекторы.

В обоих типах установок одной из основных частей являются прозрачные защитные покрытия, находящиеся в верхней части приемной поверхности. В основном это покрытия на основе стекла. При этом для нормальной работы фотовольтаических установок и солнечных коллекто-

ров, используемых для нагрева теплоносителя, необходим различный солнечный спектр пропускания этих покрытий [1].

В настоящее время существует и еще один класс солнечных установок, называемых термофотовольтаическими, при работе которых с одной и той же приемной поверхности вырабатывается тепловая и электрическая энергия [2].

В этих установках необходимо использовать защитное покрытие со спектром пропускания, удовлетворяющим работе как тепловых, так и фотовольтаических солнечных установок [3].

Для этих целей были проведены исследования, в которых предполагалось определить возможные физические характеристики защитных прозрачных покрытий, удовлетворяющих нормальной энергетической выработке солнечных установок.

Цель исследования

Известно, что солнечная радиация, падающая на поверхность Земли, является нестабильным энергетическим источником, как в течение года, так и в течение суток [4].

Прозрачность веществ напрямую сказывается на эффективности работы установок. Так, например, гелиоколлекторы обычно имеют одно, двух и трех стекольное покрытие, толщина стекла 2, 3, 4, а иногда 6 мм. Это делается для повышения его теплоизолирующих свойств. Солнечные коллекторы, могут иметь как стекольное, так и пленочное покрытие. Фотоэлектрические батареи имеют обычно покрытие из ламината, предохраняющее фотозлементы от града, дождя, запыленности и других факторов. В космосе покрытие должно иметь ещё и защиту от радиационных воздействий [4,5]. Естественно, чем больше света пропускает стекло, тем эффективнее работа установки. Однако, например, для гелиоколлекторов использование тонких стекол не решает вопрос термоизоляции их в холодную погоду, а для солнечных батарей ударостойкости, поэтому необходимо найти компромисс. Неоценимую помощь в этом могут оказать измерительные приборы. Иногда требуется в очень короткий срок, например, при строительстве, оценить качество стекла, поэтому приборы должны быть простыми в использовании и не громоздкими (пример солнечный элемент). Чем удобны фотоэлектрические модули для измерений, так это своими размерами (площадь рабочей поверхности до 1 м²), т.е. прозрачность больших кусков стёкол можно измерять по всей площади с большой точностью. Целью нашего исследования было исследование и создание опытных образцов наиболее подходящих измерительных приборов, обладающих выше указанными характеристиками.

Результаты исследования

Как уже говорилось выше наш измерительный прибор представлял собой фотоэлектрическую пластинку размером 0,5 см², тыльный и лицевой контакты которой были подсоединены к миллиамперметру. Для измерения инфракрасного излучения использовался фоторезистор. Вся

лабораторная установка по определению пропускательной способности (УОПС) состоит из нескольких блоков выполняющих отдельные функции.

Для изготовления УОПС используется цифровой мультиметр DT 830B, который необходим для измерения сопротивления фоторезистора. Фоторезистор является составляющей пары, второй частью которой является светоизлучающий диод инфракрасного свечения. Две составляющие расположены на определённом расстоянии друг от друга. Это расстояние зависит от толщины испытываемого стекла и составляет от 30 до 5 мм.

Фоторезистор, облучаемый инфракрасным светодиодом, имеет зависимость сопротивления от интенсивности излучения. Поэтому, при установке исследуемого материала между элементами пары, сразу видно, на сколько изменились показания мультиметра по сравнению с показанием, зафиксированным без установки исследуемого образца (то есть разницу, выражающуюся в цифровом значении). Получив данные измерения со стеклом и без него, мы можем легко вычислить разницу. Представив ее в процентах, мы можем вести подсчеты и ориентироваться в прозрачности стекла.

При покупке, сортировке и входном контроле нам будет легко определять прозрачность, что существенно облегчит расчетные работы.

Способ построения схемы предложенной в данной статье является более простым и дешёвым, а значит более эффективным, чем использование в качестве фотоприемника фотодиода требующего дополнительной схемы.

Также предложенное схемное решение и конструкция является более удобной, и после небольшой доработки обычного мультиметра (при необходимости можно легко подсоединяется к нему).

Мультиметр при этом не утрачивает своего прямого назначения, поэтому нет необходимости покупать дорогостоящее оборудование. Есть смысл использовать данное техническое решение на практике что является удешевлением монтажных работ и увеличением развития применения возобновляемых источников энергии. Электрическая схема УОПС представлена на рис. 1.

Для того чтобы исключить зависимость интенсивности излучения светодиода VD 1 от напряжения питания, в схеме применён стабилизатор напряжения питания (микросборка DD 1 (КРЕН 5 А)). Для защиты светодиода от сверх-

тока используется ограничительный резистор R1, номиналом 1кОм.

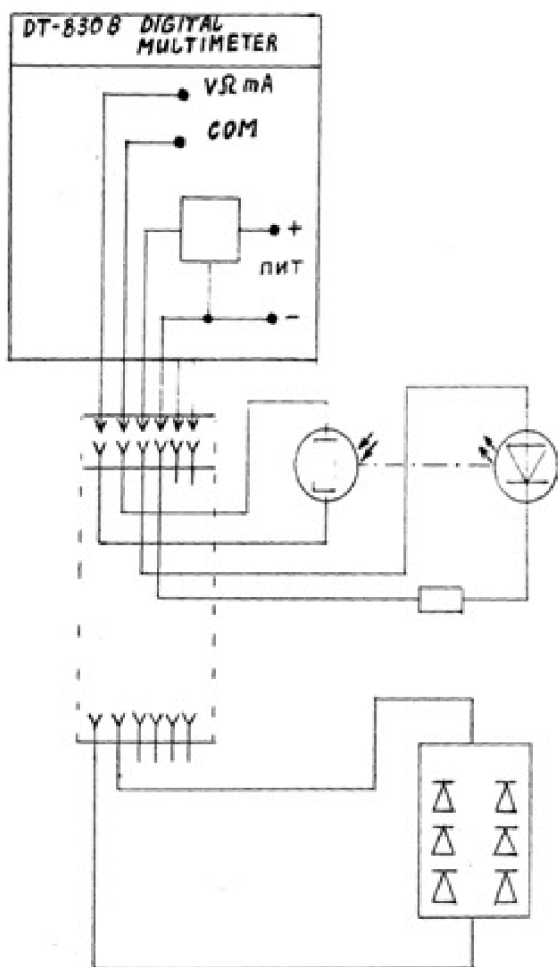


Рис. 1. Электрическая схема прибора (УОПС).

Для измерения прозрачности стекла необходимо, чтобы мультиметр был включен на измерение сопротивления 2000 кОм.

В зависимости от освещенности фоторезистора светодиодом устанавливается сопротивление (от 900 кОм до 2000 кОм) для данной схемы. При включении прибора на экране мультиметра появляется определенное значение сопротивления, при расчете необходимо от измеряемого сопротивления с учетом установленного образца отнять первоначальное показание прибора (без установленного образца), полученный результат свидетельствует о пропускательной способности стекла. За идеальную прозрачность берём показание прибора без экспериментального элемента. Для исследований были взяты образцы стекла толщиной 3 мм, 4 мм, 6 мм, оргстекло толщиной 1 мм и 4 мм, полистирол однослойный и двухслойный (толщина 0,5 мм), поликарбонат прозрачный (тол-

щина 1 мм), которые поочередно клались на рабочую панель фотоэлемента.

Исследования были проведены как с помощью прибора УОПС, так и при помощи фотоэлектрического модуля АХР-12, подключенного по такой же схеме (см. рис.1). Результаты исследований приводятся на графике, изображенном на рисунке 2, и в таблицах 1 и 2.

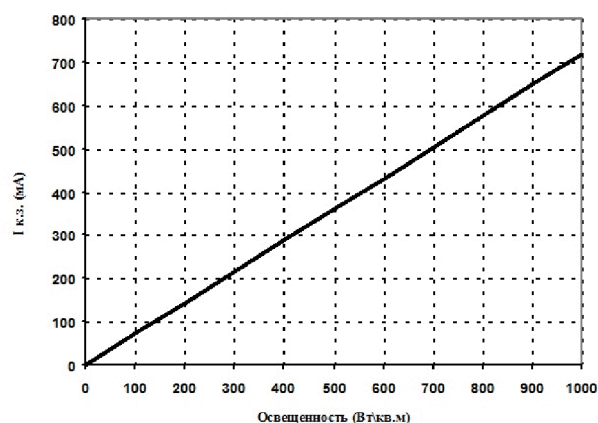


Рис. 2. Зависимость тока ($I_{кз.}$) от освещенности ($Вт/м^2$) (зависимость получена для фотоэлектрического модуля АХР-12)

Таблица 1. Пропускательная способность различных материалов (данные получены при помощи прибора УОПС)

Материал	Показания мультиметра (мА)	Соответствующие значения освещенности ($Вт/м^2$)	Пропускательная способность материала (%)
Стекло (6 мм)	8,77	677	75
Стекло (4 мм)	9,48	731	81
Стекло (3мм)	9,95	768	85
Полистирол (3-х слойный)	9,95	768	81
Полистирол (2-х слойный)	10,18	786	85
Поликарбонат (2-х слойный)	10,3	795	85
Стекло (2мм)	10,53	813	90
Полистирол (однослойный)	10,88	840	92
Поликарбонат (однослойный)	11	849	92
Оргстекло (4 мм)	11	849	90
Оргстекло (1 мм)	11,11	858	93
Без материала	11,7	903	100

Таблица 2. Пропускательная способность различных материалов (данные получены при помощи фотоэлектрического модуля AXR-12)

Материал	Показание милл-перметра (мА)	Соответствующие значения освещенности (Вт/м ²)	Пропускательная способность материала (%)
Стекло (6 мм)	487	677	77
Стекло (4 мм)	526	731	80
Стекло (3мм)	552	768	84
Полистирол (3-х слойный)	552	768	85
Полистирол (2-х слойный)	565	786	87
Поликарбонат (2-х слойный)	572	795	88
Стекло (2 мм)	585	813	92
Полистирол (однослойный)	605	840	93
Поликарбонат (однослойный)	611	849	94
Оргстекло (4 мм)	611	849	94
Оргстекло (1 мм)	617	858	95
Без материала	650	903	100

Также кроме солнечных элементов, можно использовать и фоторезисторы для измерения инфракрасного излучения (измерения инфракрасного излучения очень важны для гелиоколлекторов). Основное наше внимание было сосредоточено на приборы на основе монокремниевых фотоэлектрических преобразователей, результаты исследований, полученные с их помощью, мы привели в нашей статье. Монокремниевые измерители солнечного излучения и оптического к.п.д. на данный момент времени одни из наиболее эффективных приборов, которые реагируют даже на незначительное изменение освещенности. Все это делает возможным их дальнейшее применение и усовершенствование в качестве измерительной техники.

Выводы

По результатам наших исследований можно говорить, что для эффективной работы комбинированных термофотоэлектрических установок вполне подходит 3-4 мм стекло, которое хорошо защищает их от тепловых потерь, при этом нормально пропуская солнечный спектр необходимый для работы фотоэлектрических модулей.

Однако в настоящее время чаще использу-

ются покрытия из поликарбоната, например, для покрытия теплового термо-фотоэлектрического гелиопрофиля [2]. По результатам измерений видно, что это покрытие также подходит для нормальной работы комбинированной установки по тепловому и электрическому преобразованию. Нежелательно для термо-фотоэлектрической установки использовать 2-х и более стекловое покрытие, а также покрытие из толстых стекол, какие нередко используются для тепловых гелиоколлекторов.

Список литературы

1. Кувшинов В.В. Комбинированные солнечные установки для выработки тепловой и электрической энергии / Кувшинов В.В. // Сборник научных трудов СТУЭЭП – 2010. – Вып. 2 (34) – С.182-189.
2. Кувшинов В.В. Пат. 49078 Украина; МПК Н 01 L 31/00. Фототермопреобразователь солнечной энергии / Кувшинов В.В., Сафонов В.А., Башта А.И.; заявитель и патентообладатель Кувшинов В.В. – № u 2009 12291; заявл. 30.11.09; опубл. 12.04.10, Бюл. № 7.
3. Кувшинов В.В. Методы расчета и повышения эффективности использования теплофотоэлектрических установок / В.В. Кувшинов // Сборник научных трудов СТУЭЭП – 2013. – Вып. 3 (47) – С.166 - 172.
4. М. М. Колтун, Солнечные элементы. М.: Наука, 1987. - 192 с., ил. - (Серия «Планета Земля и Вселенная»).
5. Ж.И. Алферов, В.М. Андреев Перспективы фотоэлектрического метода преобразования солнечной энергии. \ Под ред. Н.Н. Семенова. Черноголовка: Изд. ИХФ АН СССР, 1981.

References

1. Kuvshinov V.V. Combined solar systems to generate heat and power. *Sbornik nauchnykh trudov SNUNE&I*. Sevastopol, SNUNE&I, 2010, No. 2 (34). pp. 182 - 189.
2. Kuvshinov V.V. Photo-thermal converter of solar energy. *Pat.49078 Ukraine; MPK H01L31/00*. Application № u 2009 12291; appl. 30.10.2009; published on 12.04.2010, Bull. No. 7.
3. Kuvshinov V.V. Methods of calculation and improve the utilization of the heat of photovoltaic installations. *Sbornik nauchnykh trudov SNUNE&I*. Sevastopol, SNUNE&I, 2013. No. 3 (47). pp. 166 – 172.
4. Koltun M.M. *Solnechnie elementi*. Moscow, Nauka Publ., 1987, 192 p.
5. Alferova J.I. *Ptsppektivi fotoelektricheskogo metoda preobrazovania solnechnoi energii*. ICPAS USSR, Publ., 1981.

УДК 621.314.5

Разработка инвертора синусоидального напряжения с автоматической синхронизацией с сетью для фотоэлектрической установки.

П.Н. Кузнецов¹, Д.С. Авдеев², Р.Ш. Леметр³, В.О. Егорушин⁴

ФАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, ¹pavelnik2@gmail.com, ²dmityi.eco@gmail.com, ³lemetrsh@gmail.com,
⁴egovo@gmail.com

Статья поступила 10.02.2017 г.; после доработки 14.02.2017 г.

Аннотация

В настоящей статье описаны результаты работы по созданию одного из важнейших компонентов фотоэлектрической установки - инвертора напряжения, имеющего на выходе синусоидальное напряжение и способного производить автоматическую синхронизацию с сетью. Актуальность данной статьи обусловлена тем, что вопросы использования возобновляемых источников энергии входят в число приоритетных направлений развития как мировой энергетики, так и Российской Федерации. Авторами предлагается осуществить преобразование напряжения при помощи мостовой схемы, с применением микроконтроллера для управления электронными ключами, используя принципы многократной широтно-импульсно модуляции. Особый интерес привлекает использованный способ синхронизации инвертора с сетью, основанный на устранении фазного сдвига за счет временного изменения частоты инвертора.

Ключевые слова: сетевой инвертор, фотоэлектрическая станция, синхронизация с сетью, солнечное электроснабжение.

The development of inverter with sinusoidal output voltage with automatic synchronization with the network for photovoltaic installation.

P.N. Kuznetsov¹, D.S. Avdeev², R.S. Lemetr³, V.O. Egorushin⁴

Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, ¹pavelnik2@gmail.com,
²dmityi.eco@gmail.com, ³lemetrsh@gmail.com, ⁴egovo@gmail.com

Received 10.02.2017 y.; received in final form 14.02.2017 y.

Abstract

This article describes the results of work for creating one of the most important components of the photo-electrical installation - inverter with sinusoidal output voltage and is capable of producing automatic synchronization with the grid. The relevance of this article due to the fact that the issues of renewable energy are among the priority directions of development of world energy and the Russian Federation. The authors propose to transform the voltage using the bridge circuit, using microcontroller to control electronic key, using the principles of multiple pulse width modulation. Particularly of interest is used, the method of synchronization of the inverter with the grid based on eliminating the phase shift due to the temporal variation of the frequency inverter.

Keywords: grid inverter, photovoltaic system, sync with network, solar electricity.

Введение

Инверторы необходимы для работы источников бесперебойного питания потребителей

переменным напряжением и в ряде других отраслей техники, что делает их одними из самых важных компонентов в резервной или автоном-

ной системе энергоснабжения – своеобразным символом энергонезависимости [1].

В зависимости от типа выходного сигнала инверторы делятся [2]:

- на инверторы с синусоидальным выходным сигналом (рис. 1а);
- инверторы, генерирующие квазисинусоидальный (модифицированный синусоидальный) выходной сигнал или меандр (рис. 1б).

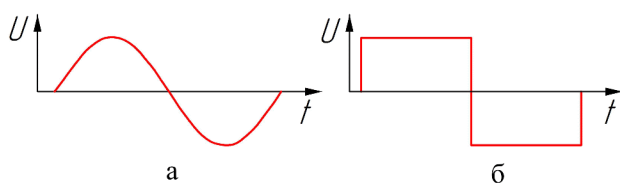


Рис. 1 Выходные сигналы инвертора
(а - синусоидальный, б - меандр).

Основу разработки представляет инвертор с синусоидальным напряжением, поскольку он обладает рядом преимуществ, а именно:

- синусоидальный сигнал подобен форме напряжения в городской сети и поэтому подходит для любой нагрузки переменного тока, в том числе для асинхронных двигателей, трансформаторов и циркуляционных насосов;
- синусоидальный сигнал обеспечивает меньший нагрев устройств по сравнению с меандром, а также не вызывает радиопомех.

Постановка задачи

В связи с вышеизложенным, перед авторами была поставлена задача – разработать инвертор синусоидального напряжения с автоматической синхронизации с сетью для фотоэлектрических установок, стоимостью ниже имеющих аналогов, обладающее необходимыми техническими характеристиками и простого в эксплуатации.

Описание исследования

При помощи предварительного высокочастотного преобразования получают напряжение постоянного тока, значение которого близко к амплитудному значению синусоидального выходного напряжения инвертора. Затем это напряжение с помощью, как правило, мостового инвертора преобразуется в переменное, по форме, близкое к синусоидальному, за счет применения соответствующих принципов управления транзисторами этого мостового инвертора («многократная широтно-импульсная модуля-

ция»). Идея этой «многократной» ШИМ заключается в том, что на интервале каждого полупериода выходного напряжения инвертора соответствующая пара транзисторов мостового инвертора коммутируется на высокой частоте (многократно) при широтно-импульсном управлении. Причем длительность этих высокочастотных импульсов коммутации изменяется по синусоидальному закону. Затем, с помощью высокочастотного фильтра нижних частот, выделяется синусоидальная составляющая выходного напряжения инвертора. [3]

Подробное устройство работы инвертора раскрывает принципиальная схема. Основным управляющим элементом схемы является микроконтроллер ATMEGA328, в который «защита» программа с алгоритмом управления. Питание контроллер получает от фотоэлектрической установки через DC-DC преобразователь, собранный на микросхеме LM2596. Данный преобразователь понижает постоянное напряжение до необходимого для питания контроллера (в нашем случае до 5В), причем он же выполняет и стабилизацию напряжения.

Силовыми управляемыми элементами инвертора является группа полевых (MOSFET) транзисторов, которые создают переполюсовку на выходном повышающем трансформаторе, а также осуществляют ШИМ-регулирование для формирования гладкой синусоиды.

Выходной конденсатор и катушка дросселя необходимы для сглаживания ступеней квантования на выходе преобразователя. Так как спектр выходных частот не содержит относительно низкочастотных гармонических составляющих (кроме первой), а только высокочастотные, и, следовательно, обычным LC-фильтром можно легко их отфильтровать, оставив только первую гармонику. В нашем случае частота квантования достаточно велика, поэтому в высоком частотном диапазоне окажутся массивы высокочастотных гармонических составляющих. Для нахождения функции коэффициента передачи выходного фильтра от номера гармонической составляющей используется уравнение:

$$K_{\Phi n} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{-R}{n^2 \cdot \omega^2 L \cdot C \cdot R - i \cdot n \cdot \omega \cdot L - R},$$

где: n – номер гармонической составляющей;

i – мнимая единица;

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ – круговая частота выходного напряжения;

L – индуктивность дросселя фильтра;

C – емкость конденсатора фильтра;

R – сопротивление нагрузки.

Квантование уровней синусоиды составляет 1024 значения по 256 на каждую четверть периода, благодаря чему мы получаем достаточно гладкую синусоиду на выходе инвертора, осциллограмма которой изображена на рис. 2.

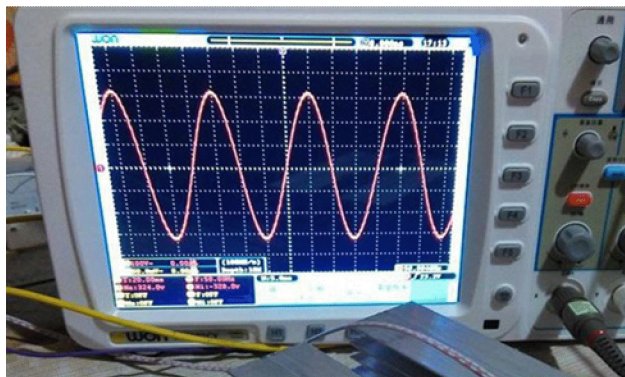


Рис. 2 Осциллограмма синусоиды.

Программа, «вшитая» в микроконтроллер, работает по следующему алгоритму:

- 1) подаем питание;
- 2) выходящий шим-сигнал увеличивает свое значение на $\sin(0.35^\circ)$. Это увеличение происходит 256 раз от 0 до 255, что соответствует четверти волны синусоиды.
- 3) при достижении 255 значения переходим в следующий логический блок, в котором происходит уменьшение значения ШИМ-сигнала на величину $\sin(0.35^\circ)$.
- 4) получаем полуволну синусоиды.
- 5) остальные два такта работают аналогично, но для второй пары транзисторов, формируя вторую полуволну синусоиды.

Как известно, обеспечение параллельной работы инвертора напряжения с сетью имеет определенные технические сложности, обусловленные необходимостью нивелирования фазного сдвига между напряжением сети и инвертора для обеспечения их точной синхронизации. Сейчас в энергетике для решения этой задачи, чаще всего, используют устаревшие системы автоматической синхронизации, которые не могут обеспечить высокую точность из-за несовершенства системы и, к тому же, являются достаточно дорогостоящим оборудованием. Возможно использование ручных синхронизаторов, но это требует определенных навыков и не всегда является удобным при большом количестве инверторов, как например, на солнечной электростанции, где они, иногда, исчисляются десятками.

Так же неплохим вариантом является автономная система солнечного электроснабжения с возможностью сброса излишков выработанной

электроэнергии в сеть, которая не возможна без устройства синхронизации инвертора с сетью. Использование в такой системе инвертора с функцией синхронизации затруднительно их дороговизной. Связанно это с тем, что на рынке практически не представлены отечественные бытовые инверторы напряжения с функцией синхронизации с сетью [4,5].

Основным управляющим элементом, выполняющим синхронизацию, является микроконтроллер, работающий по заданной программе. Его работа заключается во временном изменении частоты напряжения инвертора, для устранения фазного сдвига между напряжениями инвертора и сети, отслеживании значения разности напряжений при помощи датчика напряжения, а также подача управляющих сигналов на осуществление коммутации и разъединения инвертора от сети.

Принцип работы устройства раскрывается функциональной схемой, изображенной на рис. 3.

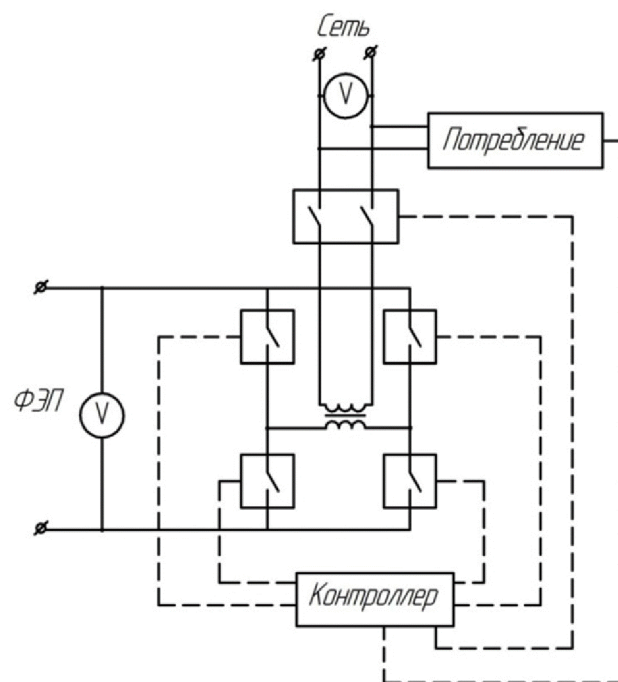


Рис. 3 Функциональная схема.

Рассмотрим принципиальную схему инвертора с синхронизацией с сетью, представленной на рис. 4. Основными элементами схемы являются микроконтроллер, датчик напряжения и коммутирующие устройства, к которым относятся полевой транзистор, отвечающий за включение реле и контактная группа самого реле, выполняющая коммутацию выхода инвертора с сетью.

На принципиальной схеме показано, как значение разности потенциалов между фазами из датчика поступает в аналоговый вход микроконтроллера, который при помощи встроенного

аналогово-цифрового преобразователя принимает цифровое значение, такая операция происходит дважды за период.

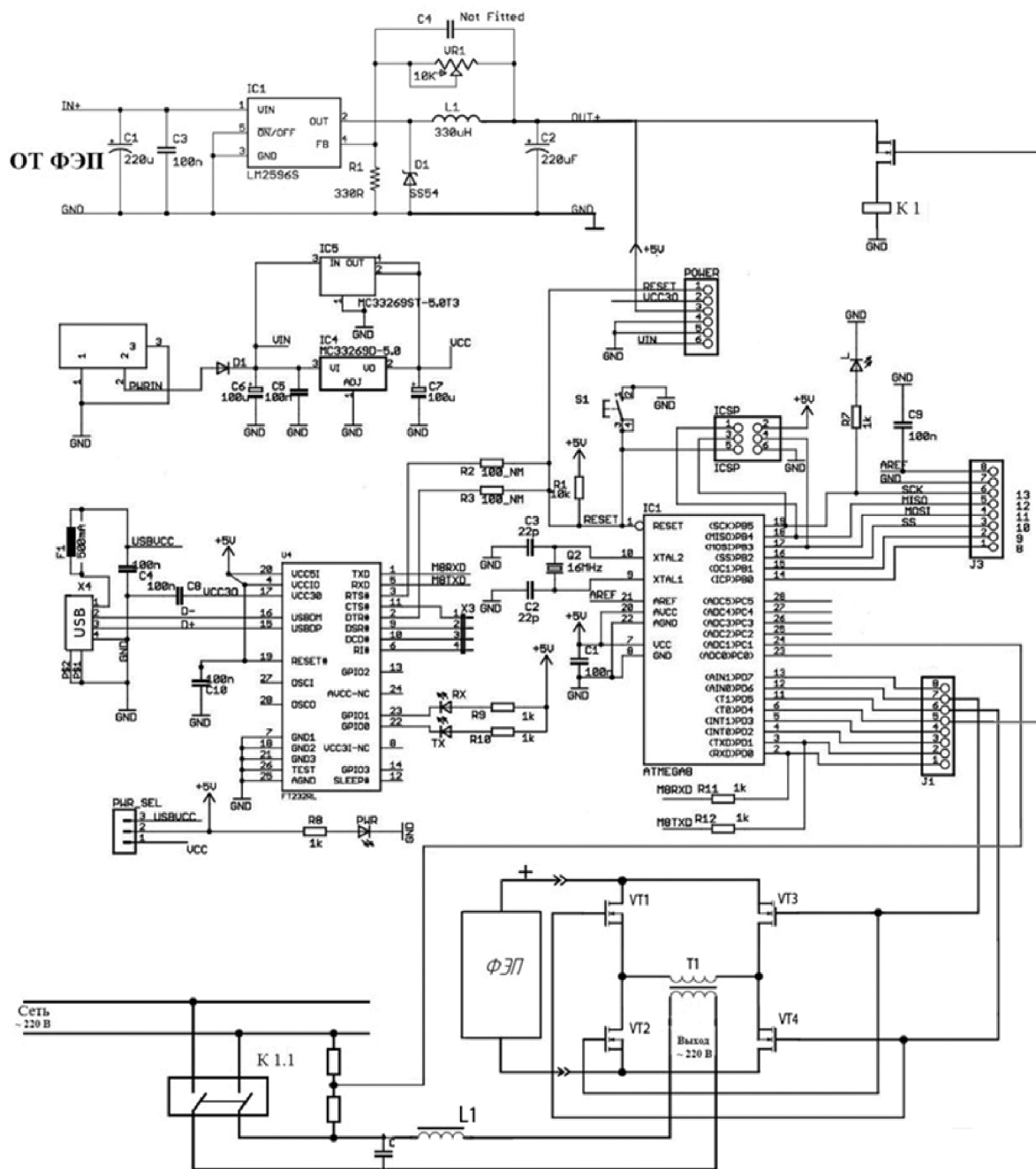


Рис. 4 Принципиальная схема устройства инвертора.

Таким образом, контроллер получает два значения разности потенциалов между фазами, на основании которых уровень рассогласованности и выполняет синхронизацию по программе, как будет сказано далее.

После выполнения синхронизации контроллер подает управляющий сигнал на затвор поле-

вого транзистора, тем самым включает реле, осуществляя коммутацию инвертора с сетью.

Теперь перейдем непосредственно к главной составляющей разработанного устройства – программе микроконтроллера.

Производится включение инвертора напряжения.

Затем, для исключения фазного сдвига между сетью и инвертором (если таковой имеется), устройство изменяет частоту напряжения инвертора. В это время, с помощью датчика производится измерение разности потенциалов между фазами сети и инвертора до тех пор, пока значение сигнала не приблизится к нулю. Затем, после небольшой паузы производится повторное измерение разности потенциалов между фазами. Если это значение отлично от нуля, измерения производятся заново. В ином случае устанавливается частота инвертора 50 Гц и осуществляется коммутация инвертора с сетью. После коммутации снимаются контрольные значения разности потенциалов, и, в случае их наличия, устройство отключает инвертор от сети и производит повторную синхронизацию [6,7].

На рис. 5 изображена блок-схема программы, в которой раскрывается принцип работы устройства.

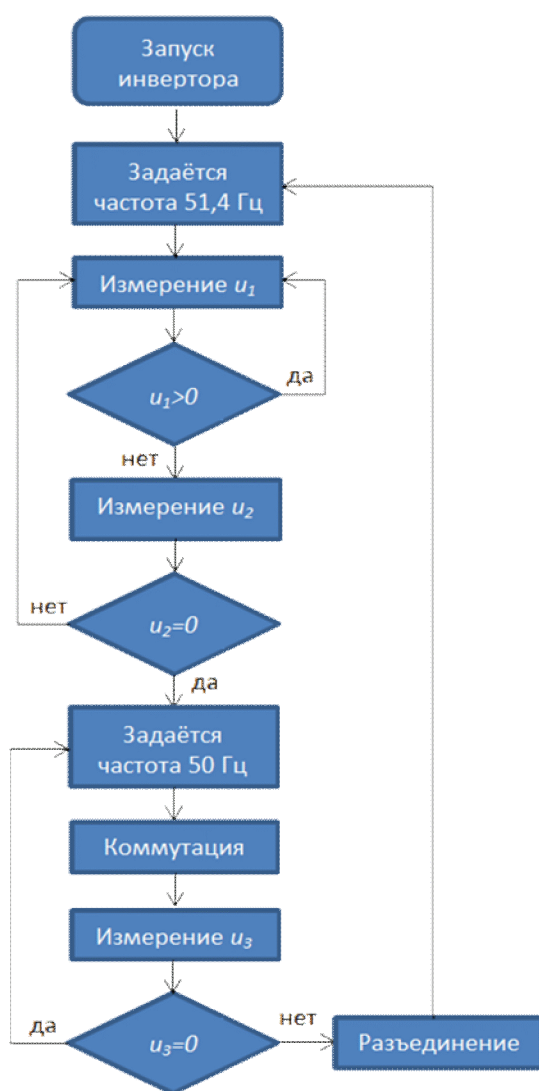


Рис. 5 Блок-схема программы.

На рис. 6. графически отображена работа инвертора.

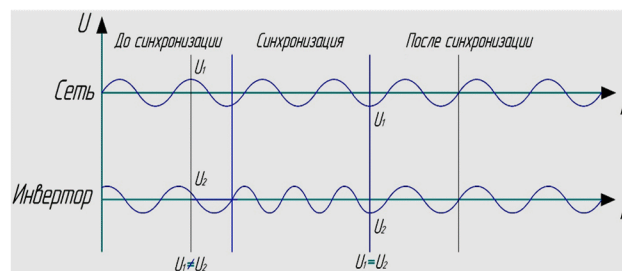


Рис. 6 Синхронизация синусоид напряжения инвертора и сети.

Изначально имеем синусоиды напряжения сети и инвертора, имеющие одинаковые действующие значения и частоту, но со сдвигом по фазе. Затем для синхронизации микроконтроллер изменяет частоту напряжения инвертора на 51,4 Гц.

Далее производится постоянное измерение и проверка разности потенциалов, пока она не станет практически нулевой.

После этого микроконтроллер устанавливает частоту напряжения на 50 Гц и в итоге устанавливаются две синхронизированные синусоиды, как показано на рис. 7.

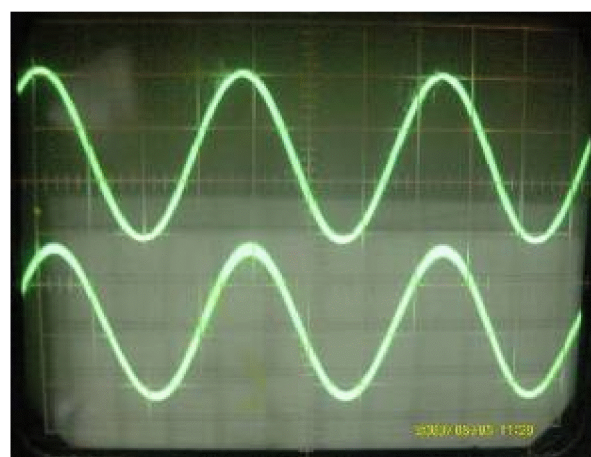


Рис. 7 Осциллограмма синхронизации напряжения.

Заключение

Таким образом, разработан инвертор синусоидального напряжения с автоматической синхронизацией с сетью для фотоэлектрической установки, который соответствует поставленным задачам.

Очевидно, такое устройство может найти широкое применение в автономных или резервных системах солнечного электроснабжения.

Список литературы

1. Бушев В.М., Деминский В.А., Захаров Л.Ф., Козляев Ю.Д., Колканов М.Ф. Электропитание устройств и систем телекоммуникации. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 384 с.
2. Ирвинг М. Готтлиб. Источники питания. Инверторы, конверторы, линейные и импульсные стабилизаторы. – 2-е изд. – М.: Постмаркет, 2002. – 544 с.
3. Раймонд Мэк. Импульсные источники питания. Теоретические основы проектирования и руководство по практическому применению. – М.: Додэка-XXI, 2008. – 272 с.
4. Сетевые инвертора и их использование //Автоном URL.: http://avtonom.com.ua/stati/istochniki_bezpereboynogo_pitanja_stabilizatori/setevie_inventory_info?record_id=9.
5. Способ синхронизации автономного инвертора напряжения с трехфазным источником напряжения // FindPatent.ru URL: http://www.findpatent.ru/patent/_/241/2416856.html.
6. Александров Е.К., Грушвицкий Р. И., Куприянов М.С. Микропроцессорные системы. М. СПб. : Политехника, 2002. 936 с.
7. Кулик В.Д. Силовая электроника. Автономные инверторы, активные преобразователи. С.-Пб.: СПбГТУРП, 2010. 90 с.
6. Aleksandrow E.K., Grushvickiy R.I., Kupriynow M.S. *Mikroprocessornie sistemi* [Microprocessor systems]. Moscow. SPb. Politehnika, 2002. 936 c.
7. Kulik V.D. *Silovay elektronika. Avtonomnie invertori, aktivnie preobrazovateli* [Power electronics. Stand-alone inverters, active converters]. SPb SPbGTURP, 2010. 90 c.

References

1. Bushev V.M., Deminskiy V.A., Zakharov L.F., Kozlyev Y.D., Kolkanov M.F. *Electropitanie ustroystv I system telekommunikacii* [Power supply devices and systems of telecommunications]. – Moscow, Gorychay liniy – Telekom, 2009. – 384 c.
2. Irving M. Gottlib. *Istochniki pitaniy. Invertory, konvertory, lineynye i impulsnye stabilizatory* [The power sources. Inverters, converters, linear and pulse stabilizers]. – 2nd edition – Moscow Postmarket, 2002. – 544 c.
3. Reymond Mek. *Impulsnye istochniki pitaniy. Teoreticheskie osnovy proektirovaniy i rukovodstvo po prakticheskomu primeneniy* [Switching power supplies. Theoretical principles of design and application guidance]. – Moscow Dodeka-XXI, 2008. – 272 c.
4. *Setevie invertori I ih ispolzovanie* [Grid inverter and use] //Avtonom URL.: http://avtonom.com.ua/stati/istochniki_bezpereboynogo_pitanja_stabilizatori/setevie_inventory_info?record_id=9.
5. *Sposob sinhronizacii avtonomnogo invertora naprygeniy s trehfaznim istochnikom naprygeniy* [The method of synchronization of Autonomous voltage inverter with three-phase voltage source] // FindPatent.ru URL: http://www.findpatent.ru/patent/_/241/2416856.html.

УДК621.311.1

Реактивная мощность и особенности компенсации реактивной мощности в сетях жилищно - коммунального сектора

Е.Г. Малюк

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
ул. Курчатова, 7, г. Севастополь, 299015, Россия, evmalyuk@mail.

Статья поступила 16.02.2017 г.; после доработки 17.02.2017 г.

Аннотация

В статье рассматривается проблема компенсации реактивной мощности в сетях жилищно-коммунального сектора как один из факторов энергосбережения и обеспечения качества электроэнергии. Приводится перечень основных потребителей реактивной мощности в сетях жилищно-коммунального сектора. Приведен обзор основных устройств, которые применяются для компенсации реактивной мощности. Особое внимание уделено размещению устройств компенсации реактивной мощности в пределах сети с точки зрения максимальной эффективности компенсации реактивной мощности с учетом экономических факторов.

Ключевые слова: реактивная мощность, активная мощность, потери в сетях жилищно-коммунального сектора, компенсация реактивной мощности.

Reactive power and the special features of its compensation in the networks of housing and utilities sector

E.G. Malyuk

Sevastopol State University, 7 Kurchatova st., Sevastopol, 299015, Russia, evmalyuk@mail.ru
Received 16.02.2017 y.; received in final form 17.02.2017 y.

Abstract

In the article is examined the problem of the compensation for reactive power in the networks of housing municipal sector as one of the factors of energy economy and guarantee of quality of electric power. The enumeration of the basic users is given of reactive power in the networks of housing and utilities sector. The survey of the fundamental sits is given, which adapt for compensating the reactive power. Special attention is given to the arrangement of the device of the compensation for reactive power in the limits of network from the point of view of the maximum effectiveness of the compensation for reactive power taking into account economic factors.

Keywords: reactive power, active power, loss in the networks of housing and utilities sector, the compensation for the reactive pow

Введение

Одной из важнейших задач энергетики России, как впрочем и других стран, является экономия энергоресурсов, в том числе и экономия электроэнергии. Энергосбережение имеет достаточно направлений, одним из которых и не последним по важности является компенсация реактивной мощности. В статье рассмотрены вопросы компенсации реактивной мощности в

сетях жилищно-коммунального сектора, эта проблема незаслуженно игнорируется специалистами-энергетиками, в виду якобы не большой величины этой мощности. Так ли это на самом деле?

Реактивная мощность и ее компенсация

В зависимости от вида используемого оборудования нагрузка бывает следующая: актив-

ная, индуктивная и емкостная. Потребитель в повседневной практике обычно включает в работу лампы накаливания, электронагреватели и т. д. (активная нагрузка) и электродвигатели, распределительные трансформаторы, люминесцентные лампы и т. д. (индуктивная нагрузка).

Активная составляющая мощности полезно используется, превращаясь в механическую, световую и другие виды энергии. Реактивная составляющая мощности не выполняет полезной работы, она служит для создания магнитных полей в индуктивных приемниках, при этом электроэнергия, запасаемая в каждом индуктивном элементе, распространяется по сети, не рассеиваясь в активных элементах, а совершая колебательные движения (от нагрузки к генератору и обратно). Показателем потребления реактивной мощности является коэффициент мощности $\cos \varphi = P/S$, который показывает соотношение активной мощности P полной мощности S .

Для чего нужна компенсация реактивной мощности в распределительных электрических сетях? Активная мощность вырабатывается только генераторами электрических станций. Реактивная мощность вырабатывается генераторами электрических станций (синхронными двигателями станций в режиме перевозбуждения), а также компенсирующими устройствами (например батареями конденсаторов). Передача реактивной мощности от генераторов по электрической сети к потребителям (индукционным приемникам энергии) вызывает в сети затраты активной мощности в виде потерь и дополнительно загружает элементы электрической сети, снижая их общую пропускную способность. Так, например, генератор с номинальной мощностью 1000 кВА при номинальном коэффициенте мощности $\cos \varphi = 0,85$ может отдать потребителю активную мощность, равную $1000 \times 0,85 = 850$ кВт. Если генератор будет работать с $\cos \varphi = 0,6$ то в сеть будет отдаваться активная мощность равная $1000 \times 0,6 = 600$ кВт (активная мощность недоиспользуется на 30%). Поэтому, как правило, увеличение выдачи реактивной мощности генераторами станций с целью доставки ее потребителям нецелесообразно.

Наибольший экономический эффект достигается при размещении компенсирующих устройств (генерации реактивной мощности) вблизи потребляющих реактивную мощность индукционных приемников энергии. К индукционным приемникам энергии относятся:

1) трансформатор. Он является одним из

основных звеньев в передаче электроэнергии от источника электрической энергии до потребителя и предназначен для преобразования посредством электромагнитной индукции системы переменного тока одного напряжения в систему переменного тока другого напряжения при неизменной частоте и без существенных потерь мощности;

- 2) асинхронный двигатель. Асинхронные двигатели наряду с активной мощностью потребляют до 65% реактивной мощности энергосистемы;
- 3) индукционные печи. Это крупные электроприемники, требующие для своего действия большое количество реактивной мощности. Индукционные печи промышленной частоты часто используются для плавки металлов;
- 4) преобразовательные установки, преобразующие переменный ток в постоянный при помощи выпрямителей. Данные установки широко применяются на промышленных предприятиях и железнодорожном транспорте, использующем постоянный ток;
- 5) жилищно-коммунальная сфера. Увеличение числа различных электроприводов, стабилизирующих и преобразовательных устройств, применение полупроводниковых преобразователей приводит к росту потребляемой реактивной мощности, а это в свою очередь, влияет на работу других электроприемников, сокращает срок их службы, создает дополнительные потери электроэнергии. Современные люминесцентные светильники также являются потребителями реактивной мощности.

К чему приводит отсутствие компенсации реактивной мощности у абонентов.

- 1) у трансформаторов при уменьшении $\cos \varphi$ уменьшается пропускная способность по активной мощности вследствие увеличения реактивной нагрузки;
- 2) увеличение полной мощности при снижении $\cos \varphi$ приводит к возрастанию тока и следовательно, потерям мощности, которые пропорциональны квадрату тока;

- 3) увеличение тока требует повышения сечений проводов и кабелей, растут капитальные затраты на электрические сети. Увеличение тока при снижении $\cos \varphi$ ведет к увеличению потери напряжения во всех звеньях энергосистемы, что вызывает понижение напряжения у потребителей;
- 4) на промышленных предприятиях понижение напряжения нарушает нормальную работу электроприемников. Снижается частота вращения электродвигателей, что приводит к снижению производительности рабочих машин, уменьшается производительность электрических печей, ухудшается качество сварки, снижается световой поток ламп, уменьшается пропускная способность заводских электрических сетей, а как итог ухудшается качество продукции.

Компенсировать реактивную мощность возможно синхронными компенсаторами косинусными конденсаторами (конденсаторными установками), шунтирующими реакторами, фильтрами высших гармоник, статическими тиристорными компенсаторами. Применение различных видов оборудования для компенсации реактивной мощности полностью зависит от места и цели его установки.

Конденсаторные батареи предназначены для выдачи реактивной мощности в систему. Снижение перетоков реактивной мощности от генератора к нагрузке в сети приводит к снижению потерь активной энергии, снижению потерь напряжения.

Статические тиристорные компенсаторы могут работать как на выдачу, так и на потребление реактивной мощности. В электрических сетях они требуются для оптимизации режимов работы с целью повышения пропускной способности и устойчивости линий электропередачи, стабилизации напряжения в узлах нагрузки, уменьшения потерь электроэнергии и повышения ее качества.

Шунтирующие реакторы используются для компенсации емкостной реактивной мощности, генерируемой протяженными слабо нагруженными линиями передач.

Фильтрокомпенсирующие устройства предназначены для снижения гармонических искажений напряжения и компенсации реактивной мощности нагрузок потребителей в сетях электроснабжения промышленных предприятий

и в электрических сетях.

Синхронные компенсаторы представляют собой синхронную машину, работающую в режиме двигателя без активной нагрузки и генерирующую в сеть реактивную мощность. Синхронные компенсаторы применяют для регулирования энергетических систем, для поддержания напряжения, снижения потерь электроэнергии в сетях, увеличения пропускной способности и обеспечения устойчивости энергосистем.

Таким образом, при проведении мероприятий по энергосбережению должны рассматриваться механизмы компенсации реактивной мощности непосредственно в индукционных приемниках энергии или у потребителей, потому что реактивная мощность, как и активная учитывается в тарифе за электроэнергию, за рост ее потребления платит абонент (промышленное предприятие).

В распределительных сетях жилищно-коммунальных потребителей, содержащих преимущественно однофазную нагрузку, устройства компенсации реактивной мощности применяются крайне редко, но расход электроэнергии в жилом секторе увеличивается, поэтому рассмотрение установки устройств компенсации у таких абонентов становится актуальной темой. Интенсивное развитие передовой техники и различных технологий, связанных с потреблением электроэнергии, оказывает существенное влияние на общий рост энергопотребления в жилищно-коммунальном секторе. Электробытовые приборы повседневного пользования: электродвигатели стиральных машин и кондиционеров, блоки питания телевизоров и компьютеров, энергосберегающие лампы ЛДС и ДРЛ, нагружают сеть и активной и реактивной составляющими полной расходуемой мощности. Циркулирующий реактивный ток приводит к потерям мощности и энергии в линиях, трансформаторах энергосистемы при этом потери мощности в линиях можно оценить по следующей формуле:

$$\Delta P = \frac{S^2 - P^2}{x^2} \times r,$$

где: S - полная мощность, потребляемая единичным потребителем из сети (кВА);

P - активная составляющая, потребляемой единичным потребителем мощности (кВт);

x - реактивное (индуктивное) сопротивление цепи потребителя (Ом);

r - активное сопротивление сети;

ΔP - потери, вызванные перетоком реактивной мощности (кВт).

До недавнего времени было принято считать, что по причине небольшой протяженности городских низковольтных сетей, проблемы компенсации реактивной мощности в сетях жилищно-коммунального сектора не существует.

Однако за последнее десятилетие расход электроэнергии на 1 м² жилой площади увеличился в 3 раза, что привело к увеличению средней мощности силовых трансформаторов городских сетей до 325 кВА, а рабочий интервал потребляемой мощности колеблется в пределах 250 - 400 кВА. Статические данные нагрузок многоквартирных жилых домов показывают, что в течении суток средняя величина коэффициента мощности $\cos \varphi$ изменяется в пределах от 0,88 до 0,97, а по отдельно взятым фазам - от 0,84 до 0,99. Такие показатели объясняют большое потребление реактивной мощности на городских подстанциях, что в итоге неизбежно приводит к большим потерям электроэнергии и необходимости их возмещения за счет дополнительных источников генерации. Таким образом, назрела необходимость компенсации реактивной мощности в сетях жилищно-коммунального сектора.

Мероприятия по компенсации реактивной мощности следует рассматривать как фактор обеспечения качества электроэнергии, фактор, являющийся составной частью мер по энергосбережению и как следствие фактор экономии денежных ресурсов.

Мероприятия по компенсации реактивной мощности в сетях жилищно-коммунального сектора можно разделить на организационные и технические. С точки зрения организационной оказывается, что ни генерирующие компании, ни распределительные компании, ни управляющие компании в жилищном секторе не заинтересованы в финансировании мероприятий по компенсации реактивной мощности, поскольку учета реактивной мощности в сетях жилищно-коммунального сектора не ведется, а неизбежные потери, вызванные перетоками реактивной мощности, обуславливающие разность показаний счетчиков электроэнергии на подстанциях и суммарных показаний счетчиков отдельных потребителей, просто включаются в тарифы на стоимость электроэнергии.

Технические мероприятия предполагают установку компенсирующих устройств в сетях 0,4 кВ, для компенсации реактивной мощности. В качестве компенсирующих устройств в сетях жилищно-коммунального сектора целесообразно использовать компенсирующие устройства на базе конденсаторов, они в наибольшей сте-

пени отвечают требованиям цена-качество. Однако степень и эффективность компенсации реактивной мощности зависит также от места установки компенсирующих устройств. Рассмотрим подробнее варианты размещения компенсирующих устройств в сетях 0,4 кВ в жилищно-коммунальном секторе:

- 1) размещение компенсирующего устройства на подстанции на стороне низкого напряжения позволяет исключить протекание токов, обусловленных перетоком реактивной мощности в обмотках трансформатора. Кроме того при подобном размещении экономически оправдано использование автоматического компенсирующего устройства, позволяющего с помощью коммутации емкостей менять уровень генерируемой компенсирующим устройством реактивной мощности, что позволяет кроме компенсации улучшить качество электроэнергии, путем корректировки спектрального состава напряжения. К недостаткам подобной схемы размещения следует отнести отсутствие компенсации тока обусловленного реактивной мощностью в кабелях от подстанции к объектам жилищно-коммунального сектора и в кабелях разводки по зданиям и сооружениям. Следует иметь в виду, что нагрузка в том числе и реактивная, в сетях жилищно-коммунального сектора несимметрична и меняется в течении суток, в целях исключения перекompенсации необходимо компенсацию реактивной проводить отдельно по фазам, что значительно увеличивает стоимость компенсирующего устройства;
- 2) размещение компенсирующего устройства на вводе в каждое здание позволяет разгрузить кабели идущие от подстанции к коммунальным объектам. Подобная схема компенсации экономически и технически оправдана при применении автоматических компенсирующих устройств в сетях объектов, в которых возможно обеспечить равномерную нагрузку по фазам, это такие объекты как торговые центры, спортивные сооружения, медицинские учреждения,

кинотеатры, музеи и т.п.;

- 3) индивидуальная компенсация проводится на уровне отдельно взятой квартиры. Использование компенсирующего устройства непосредственно у потребителя дает возможность рассчитать величину компенсации с учетом мощности потребителя и его режимов работы. В результате такой схемы компенсации потери электроэнергии снизятся на всех участках электропередачи, а также увеличится пропускная способность всей линии. Компенсирующее устройство (косинусный конденсатор) на суммарную нагрузку жилой квартиры устанавливается непосредственно в щите учета электроэнергии. По данным испанской фирмы Edeinor S.A.A., установка конденсаторов HomeCap суммарной мощностью 37000 кВАр в 114000 домовладений района Инфантос северной части столицы Перу Лимы, повысила средневзвешенный коэффициент мощности распределительной сети с 0,84 до 0,93, что позволило ежегодно экономить около 280 кВт.ч. на каждый присоединенный кВАр РМ или всего 19300 МВт.ч. в год. Кроме того, учитывая качественные изменения характера бытовой нагрузки (импульсные источники питания электроприборов, активные балласты энергосберегающих ламп, светодиодные светильники, инверторные схемы, применяемые в конструкциях бытовых приборов), искажающих форму напряжения сети, одновременно при помощи конденсаторов HomeCap удалось снизить уровень гармонических составляющих в среднем на 1%. Однако следует отметить, что этот метод компенсации имеет существенный недостаток. Поскольку емкость компенсирующего конденсатора рассчитывается на максимальную суммарную мощность приборов, потребляющих реактивную мощность, то при изменении потребляемой мощности (частичном включении потребителей) имеет место перекомпенсация, следствием которой является возрастание напряжения сети, это возрастание тем больше, чем меньше потребляемая реактивная мощность и максимально при выключенных потребителях реактивной

мощности. Для исключения подобного явления необходимо в качестве компенсирующего устройства использовать батарею конденсаторов с возможностью их автоматической коммутации в зависимости от потребляемой реактивной мощности, однако подобное устройство относительно дорого и потребляет электроэнергию в процессе функционирования, поэтому использование его в цепях питания каждой квартиры экономически нецелесообразно;

- 4) компенсация реактивной мощности на уровне отдельных потребителей является самым перспективным методом в сетях жилищно-коммунального сектора. Сущность этого способа компенсации заключается в генерировании реактивной мощности в приборах где она потребляется, таким образом при подобном способе компенсации перетоки реактивной мощности в электрических сетях исключается практически полностью. Компенсирующие емкости устанавливаются непосредственно в устройства, содержащие в своем составе потребители реактивной мощности. Рассчитываются компенсирующие емкости по следующим простым формулам:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2},$$

$$x = \frac{U^2}{Q},$$

$$C = \frac{1}{2\pi f x'}$$

где: $S = UI$ – полная мощность (кВА);

Q – реактивная мощность (кВАр);

U – действующее значение напряжения сети (В);

I – действующее значение потребляемого тока (А);

P – активная мощность (кВт);

x – модуль реактивного сопротивления (Ом);

f – частота напряжения сети (Гц);

C – величина емкости (Ф).

Достоинства подобного метода заключаются в простоте реализации, надежности, экономичности (отсутствует потребление электроэнергии при выключенных потребителях реактивной мощности), отсутствии повышения напряжения вызванного перекомпенсацией, дешевизне и отсутствии необходимости технического обслуживания цепей компенсации реактивной мощности. Кроме

того, не сложные конструктивные и технологические решения в виде ступенчатой коммутации компенсирующих конденсаторов в устройствах, имеющих меняющиеся режимы работы и соответственно изменяющийся уровень потребления реактивной мощности, позволяют удерживать уровень коэффициента на оптимальном уровне, исключая тем самым рост напряжения в сети, вызванный перекомпенсацией реактивной мощности, при автоматической или ручной смене режимов работы устройств. Популярны в данный момент конструктивные схемы бытовых устройств, таких как кондиционеры, холодильники, пылесосы, использующие инверторные технологии, позволяющие выполнять плавную регулировку мощности электроприводов и поэтому обеспечивающие высокую эффективность устройств при значительной экономии электроэнергии, имеют весьма существенный недостаток, заключающийся в искажении формы потребляемого тока и соответственно выдачу в питающую сеть паразитных гармоник. Использование компенсирующих конденсаторов в составе фильтро – компенсирующих устройств, позволяет отфильтровывать нежелательные гармоники, корректируя спектральный состав напряжения.

Заключение

Приведенный анализ показывает, что игнорировать того факт, что реактивная мощность в данный момент времени имеет достаточно большой уровень в сетях жилищно – коммунального сектора, уже невозможно поскольку с каждым годом энерговооруженность жилищно – коммунального сектора возрастает и в то же время возрастают требования к качеству электрической энергии. Так как электроэнергия является специфическим товаром, качество которого зависит не только от его производителей и транспортировщиков, но и от потребителей, то подход к обеспечению качества энергии должен быть комплексным. Если в промышленности этот вопрос решается организационным (заключение договора с энергоснабжающей организацией) и техническим (использование компенсирующих устройств) методами, то в жилищно – коммунальном секторе, в силу инерции мышления этот процесс затягивается несмотря на то, что в последние годы наметилась тенденция опережающего роста потребления электроэнергии, соответственно и реактивной мощности, в сетях жилищно – коммунального сектора по сравнению с ростом ее потребления в промышленности и на транспорте. Предложение по

размещению источников реактивной мощности в устройствах ее потребляющих, позволит решить проблему компенсации реактивной мощности в сетях жилищно – коммунального сектора наиболее рациональным методом.

Список литературы

1. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. : Руководство для практических расчетов. – М.:ЭНАС, 2009.-456с.
2. Жежеленко И.В. Саенко Ю.Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях.- 3-е изд., перераб. И доп.- М.: Энергоатомиздат, 2000.-252., 74ил.
3. Паули В.К., Воротников Р.А. Компенсация реактивной мощности как эффективное средство рационального использования электроэнергии// Энергоэксперт.- 2007. - №2.

References

1. Jelezko V.S. Elektrisiteit verliese. Reaktiewe krag. Krag kwaliteit. : gids vir praktiese berekeninge. -M.: ENAS, 2009.-456 s.
2. Zhezhenko I.V. Saenko U.L. Power gehalte aanwysers en hul beheer op industriële ondernemings.-3 h.f, hersien. en bykomende las.-M.: Energoatomizdat, 2000.-252., 74il.
3. Pauli V.K., Vortnikov R.A. Reaktiewe krag vergoeding as doeltreffende instrument vir rasonale gebruik van energy//Jenergojekspert.-2007. - №2.

УДК 551.50:620.9

Исследования работы трехступенчатой солнечной электростанции

В.А. Сафонов¹, А.А. Восканян², Н.В. Киреева³

Федеративное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет» г. Севастополь, ул. Университетская, 33,
e-mail: ¹hydrogen@hotmail.ru

Статья поступила 02.02.2017 г.; после доработки 06.02.2017 г.

Аннотация

В статье представлены результаты исследований по трехрядной солнечной электростанции ООО «Энерджи Севастополь» в зимнее время. Были произведены измерения поверхностной температуры в разных точках фотоэлектрических панелей, модулей и рядов, освещенность панелей и мощность на инверторе №4, проведено сравнение скорости ветра на высоте 1,5 метра с летними значениями, которые проводились на этой же станции.

Ключевые слова: трехрядная солнечная электростанция, фотоэлектрический элемент, фотоэлектрическая панель, модуль, температура, освещенность, мощность инвертор.

Studies of three-row solar power plant

V.A. Safonov¹, A.A. Voskanyan², N.V. Kireyeva³

The federal state autonomous educational institution of higher education "Sevastopol National Technical University", Sevastopol, st. University, 33, e-mail: ¹hydrogen@hotmail.ru

Received 02.02.2017 y.; received in final form 06.02.2017 y.

Annotation

The article presents the results of studies on three-row solar power plant LLC "Energy Sevastopol" in the winter. Measuring the surface temperature were made at different points of the photovoltaic panels, modules and rows, lighting on the panels and power of the inverter №4. Comparison of wind speeds were carried out in the level of 1.5 meters with summer values at the same station.

Keywords: three-row solar power plant, photovoltaic cell, photovoltaic panel, module, temperature, lighting, power inverter.

Введение

Вплоть до начала XX века вопросы добычи и преобразования энергии для нужд человечества не были особо актуальными. Однако, сейчас общество является полностью энергозависимым. Потребности населения в электроэнергии растут, а природные энергетические ресурсы рано или поздно подойдут к концу. [5]

Кроме того, сжигание углеводородного и другого топлива приводит к загрязнению атмосферы и повышению температуры, что губительно для обитания на Земле, так как это меня-

ет климат, вызывает тайфуны, наводнения, таяние ледников.

Многие ученые приходят к такому мнению, что будущее за возобновляемыми источниками энергии, такими как солнечная, ветро-, гидро-геотермальная, переработка отходов, а также получение энергии в токомаках, когда вырабатываемая энергия превысит затраченную на работу токомака.

В настоящее время в Крыму используются эл. мощности, которых явно недостаточно. Они потребляют топливные ресурсы, запас которых ограничен и загрязняют атмосферу выбросами

на уникальной территории-планете Земля.

Для подачи мощности в энергосистему Крыма ведется строительство магистральной ЛЭП «Керчь – Симферополь», протяженностью 240 км. Более чем 2-кратный рост нагрузки на энергосистему будет обусловлен реализацией крупных инвестпроектов, реконструкцией инфраструктуры Черноморского флота и развитием оборонно-промышленного комплекса. При такой нагрузке существующих и строящихся электростанций и энергомоста будет недостаточно, чтобы покрыть потребность Крыма в электроэнергии. [4]

Предприятиям предлагают переходить на собственное энергопотребление, например дизель-генераторы, стоимость энергии которых очень высока. Одним из решений проблемы является использование ВИЭ и более конкретно для Крыма – фотоэлектрических станций.

На полуострове есть условия для развития возобновляемых источников энергии. Большое количество солнечных дней, теплый климат и наличие свободных площадей для строительства солнечных станций. Важно сегодня развивать исследования в области солнечной энергетики, чтобы в будущем население и промышленность могли полностью обеспечить себя энергией от ВИЭ [5].

Рассмотрим особенности трехрядной СЭС, которая состоит из фотоэлектрических панелей.

Фотоэлектрическая панель состоит из отдельных солнечных элементов; фотоэлемент – полупроводниковое устройство, которое преобразует солнечную энергию в постоянный электрический ток. Фотоэлектрические элементы соединяют последовательно и параллельно для того, чтобы увеличить выходные параметры – ток, напряжение и мощность. При последовательном соединении увеличивается выходное напряжение, при параллельном – выходной ток. Для того чтобы увеличить и ток, и напряжение, комбинируют два этих способа соединения. [3].

На трехрядной станции при недостаточном расстоянии между рядами нижний ряд может быть затенен предыдущим верхним рядом. Частичное затемнение панели ведет к падению мощности станции в целом.

Особенности строения фотоэлементов (р-п переходов) состоят в том, что с ростом их температуры происходит снижение мощности панели. Важным техническим параметром фотоэлектрических панелей, который оказывает основное влияние на экономичность всей установки, является полезная мощность.

Модули будут выдавать проектную мощ-

ность только тогда, когда они холодные. Панели имеют запас для работы при пониженной освещенности, под пылью и нагретыми на солнце.

В зимний период были произведены исследования на действующей станции, расположенной в г. Севастополь на северной стороне, ул. Богданова, 74а. Фрагмент станции ООО «Энерджи Севастополь» представлен на рис. 1.



Рис. 1. Фрагмент станции ООО «Энерджи Севастополь».

Станция расположена на земельном участке площадью 5,3 га.

Солнечные элементы собираются в солнечные панели. Панели установлены на оцинкованных стальных опорах. Конструкции из 3 панелей в высоту (4,92 м) и 6 панелей в ширину (5,96 м) собирается в модуль. Модуль содержит 18 панелей. Из панелей образуется ряд солнечной станции (таблица 1).

Таблица 1. Количество модулей по рядам.

Номер ряда	Модули, шт.
1	19
2	37
3	41
4	38
5	39
6	38
7	37
8	37
9	37
10	37
11	36
12	35
13	35
14	28
15	22
16	0

Схема подключения панелей, например, на инвертор №4 приведена на рис. 2. Панели ниж-

него ряда, среднего ряда и верхнего ряда имеют отдельное подключение к щитам [1].

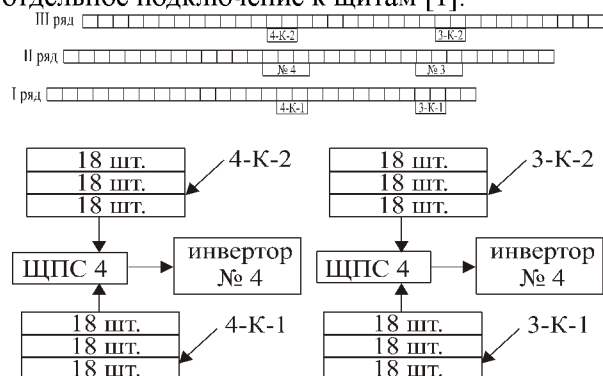


Рис. 2. Расположение и подключение инверторов №4 и №3.

Станция на фотоэлектрических элементах имеет номинальную расчетную мощность 2,35 МВт. Проектная мощность 3,026 МВт не достигнута из-за того, что часть станции недостроена. Солнечные панели производятся из псевдоквадратных монокремниевых или квадратных поликремниевых фотоэлектрических преобразователей, покрытых защитным прозрачным покрытием. Всего на станции установлено 523 модуля, т.е. 9414 панелей. Лицевая сторона панели наклонена к горизонту под углом 27 градусов.

Используемые измерительные приборы:

1. лазерный пирометр RGKPL-8 для измерения температуры поверхности модуля;
2. цифровой люксметр для измерения освещенности на поверхности панелей;
3. анемометр-термометр ADA AeroTemp – для измерения скорости ветра и температуры воздуха;
4. цифровой термометр IT-8 – для определения температуры воздуха.

Методика измерений

Измерения проводятся согласно ГОСТ Р МЭК 61853-1-2013 [2]. Указанный ГОСТ устанавливает порядок испытания для определения влияния на рабочие характеристики панели угла падения света; определения зависимости температуры модуля от энергетической освещенности, температуры воздуха и скорости ветра и зависимости генерируемой энергии от спектральных характеристик.

На каждый день исследования составляется протокол измерений, в который занесены следующие данные:

1. дата и время проведения измерений;

2. температура наружного воздуха на станции;
3. направление и скорость ветра между рядами станции;
4. температура фотоэлектрических панелей, измеренная по заранее составленной схеме измерений, с тыльной стороны;
5. освещенность лицевой стороны модулей на момент измерения их температуры и снятия показаний с инвертора;
6. показания инвертора.

Согласно ГОСТ Р МЭК 61853-1-2013 определение температуры панелей KVAZAR в летний период производилось в 9 точках на ее поверхности с тыльной стороны, не освещаемой солнцем (рис. 3) В модуле 18 панелей и необходимо измерение температуры в 162 точках.

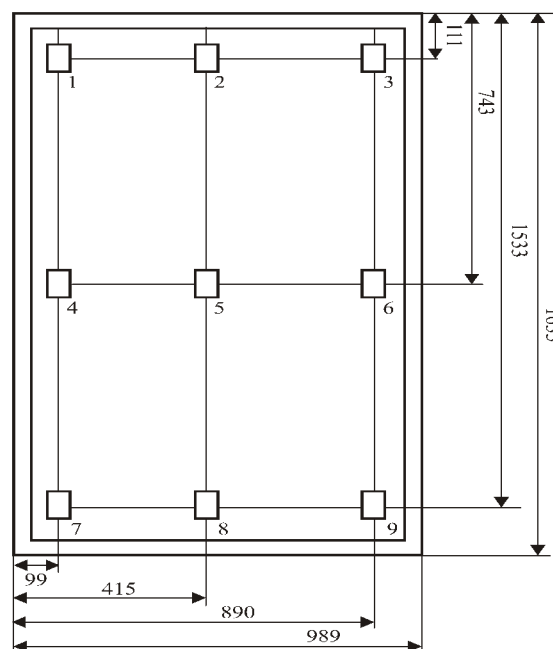


Рис. 3. Схема измерения температуры панели в летний период.

В летний период проводили измерения первого модуля первого ряда с тыльной стороны. В 18 панелях в 162 точках по горизонтальным (А-I) и вертикальным (1-18) осям, а графики распределения по высоте температуры по осям 3, 8, 9, 12, 18, по ширине для осей А, С и D (рис.4).

Для сравнительной характеристики и анализа в зимний период производили измерения температуры первого модуля первого ряда с тыльной стороны. Ниже показаны графики распределения температуры по высоте по осям 3, 8, 9, 12, 18 (рис. 5) и по ширине для оси А (рис. 6)

в летний и зимний период.

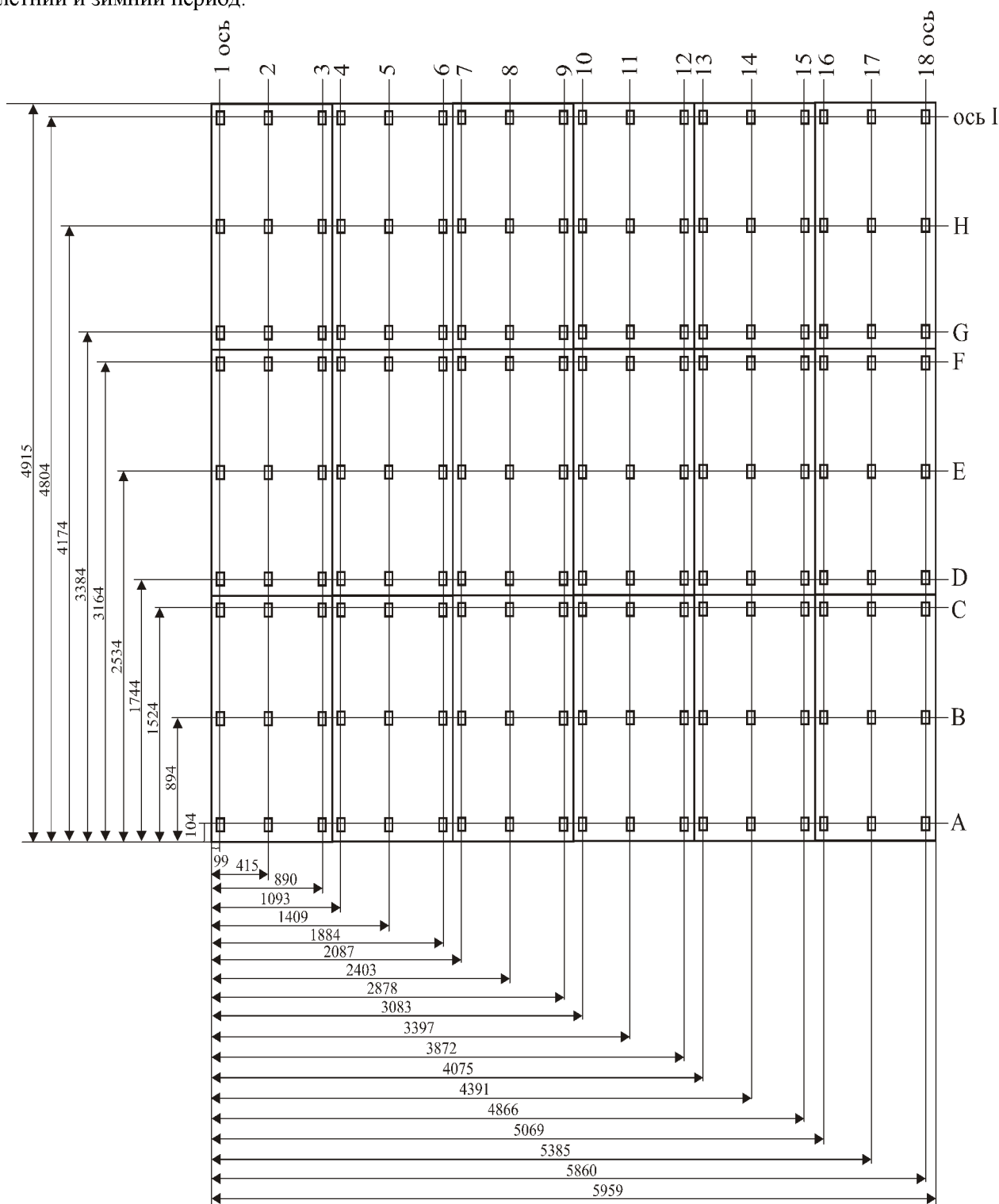


Рис.4. Схема измерения температуры 1-го модуля 1-го ряда с тыльной стороны.

Измерения на (рис.5) проведены в зимнее время 03.02.2017г., время 13.43, освещённость 1700 лк.

Из графиков (рис.5) следует, что температура панелей 1-го модуля первого ряда за летний период по высоте изменялась в пределах

10°C, а в зимний период в пределах 2°C. Т.е. в зимний период температура более стабильная, нет сильных скачков вверх или вниз как летом, что влияет на мощность, вырабатываемую модулем.

Из графиков распределения температуры

по ширине модуля (рис. 6) следует, что и за летний и за зимний периоды графики имеют похожий характер, но по изменению температуры – разный.

В летний период – перепады температуры сильнее ($13,5^{\circ}\text{C}$), а в зимний период – перепад

несущественный ($1,5^{\circ}\text{C} - 1,8^{\circ}\text{C}$).

Для исследования температурного режима целого ряда берем первый ряд и его первый модуль, девятый модуль и девятнадцатый модуль.

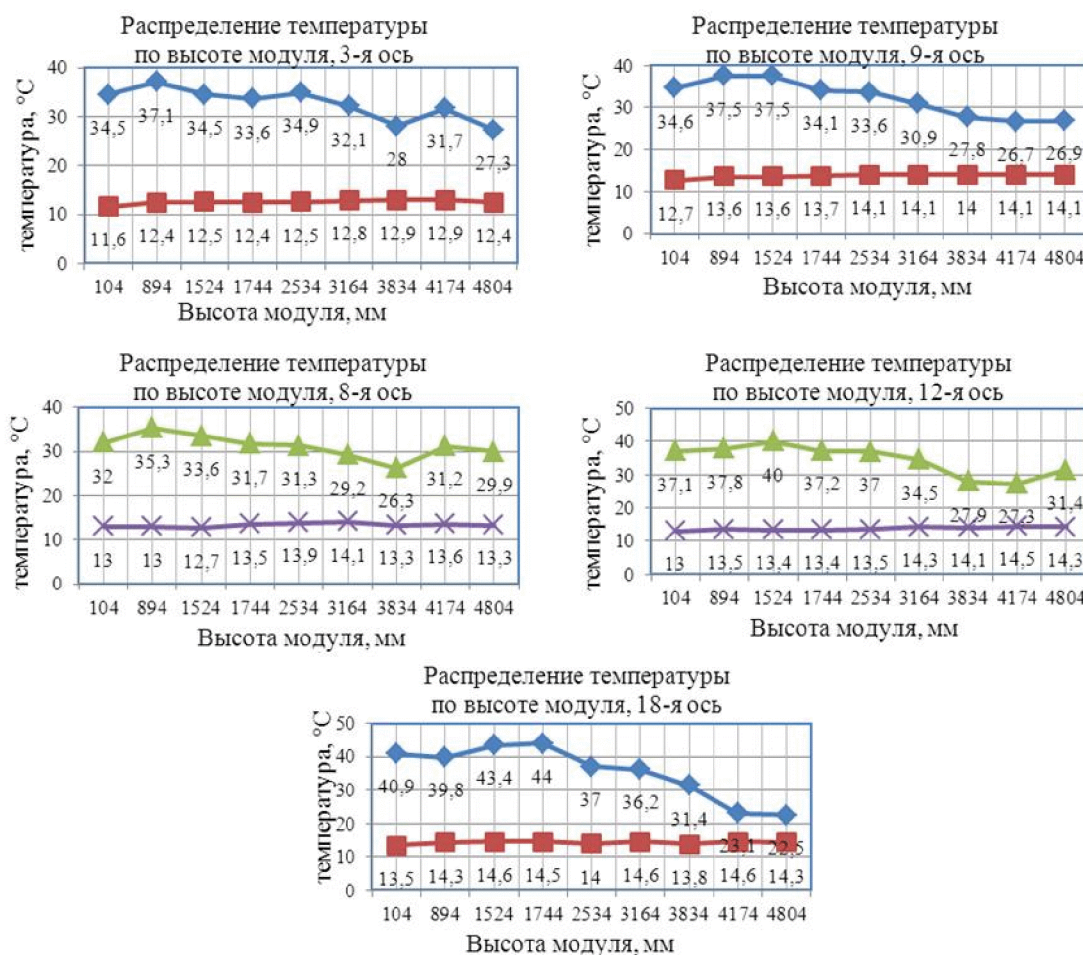


Рис.5. Графики распределения температуры по высоте 1-го модуля первого ряда в летний и зимний периоды.

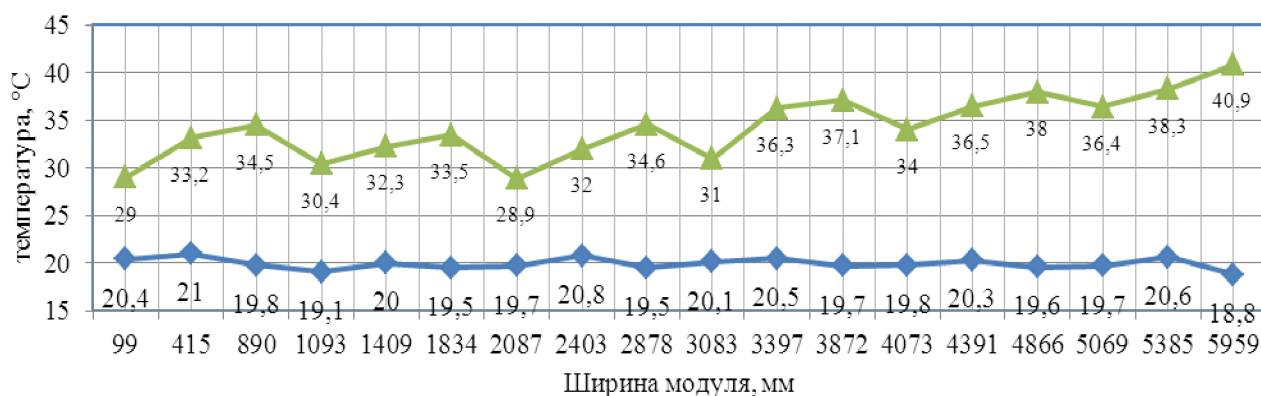


Рис. 6. Распределение температуры по ширине 1 модуля I-го ряда с тыльной стороны по оси А в летний и зимний периоды.

для панелей по рядам занесены в табл. 2. Измерения температуры панелей произведены с тыльной стороны. Измерения температуры панели произведены в одной точке (рис. 7) в 18 точках модуля, расположенных в центре каждой панели.

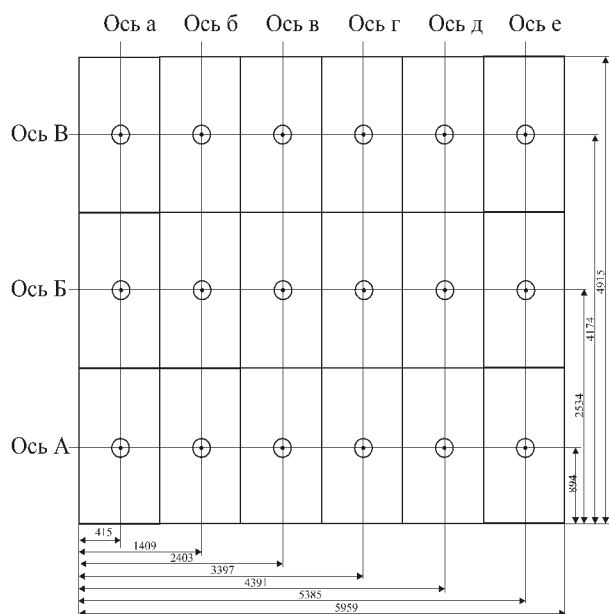


Рис. 7. Схема измерения температуры модуля (вид лицевой стороны)

Таблица 2. Экспериментальные данные исследования температурного состояния СЭС в зимнее время для панелей по рядам.

Температура 1-го модуля 1-го ряда. Дата измерения 10.02.17г., время - 12.43–12.50, освещенность - 68,5 кЛк, температура воздуха - 6°С, ветер северный - 3,2 м/с.					
21,9	22,6	22,6	22,7	24,0	23,6
23,1	22,3	22,6	21,5	22,4	23,1
23,8	23,8	23,0	23,1	23,1	22,5
Температура 9-го модуля 1-го ряда. Дата измерения 10.02.17г., время - 12.55–13.05, освещенность - 68,2 кЛк, температура воздуха - 6°С, ветер северный - 2 м/с.					
24,5	25,6	26,5	27,0	28,8	28,3
25,5	26,4	27,5	28,9	27,7	27,9
24,5	26,4	26,2	27,5	27,6	27,8
Температура 19-го модуля 1-го ряда. Дата измерения - 10.02.17г., время - 13.10 – 13.17, освещенность - 70,6 кЛк, температура воздуха - 6°С, ветер северный - 2,6 м/с.					
24,5	25,6	26,5	27,0	28,8	28,3
25,5	26,4	27,5	28,9	27,7	27,9
24,5	26,4	26,2	27,5	27,6	27,8

Графики распределения температуры модулей 1, 9, 19 по высоте и ширине (измеренной с тыльной стороны) представлены на рис. 8, 9,

10, 11, 12, 13 вместе с летними графиками.

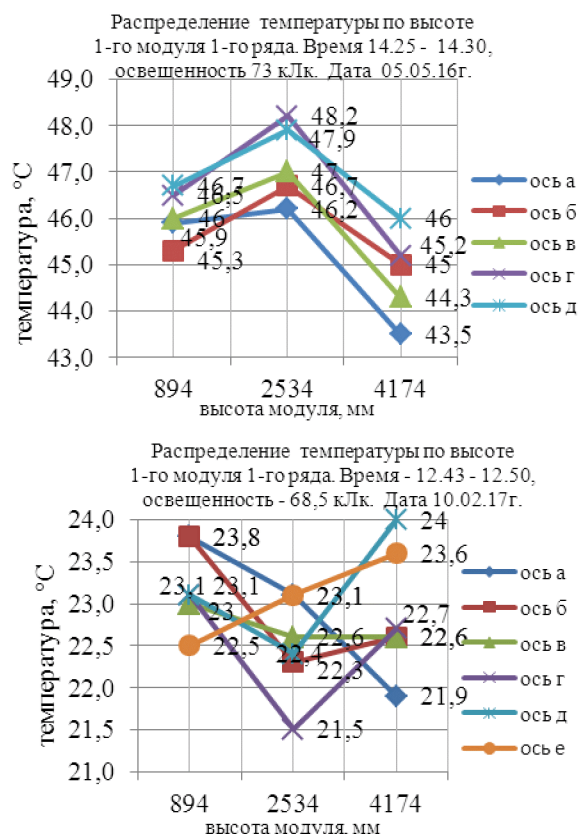


Рис. 8. Распределение температуры модулей 1-го ряда, 1-й модуль по высоте.

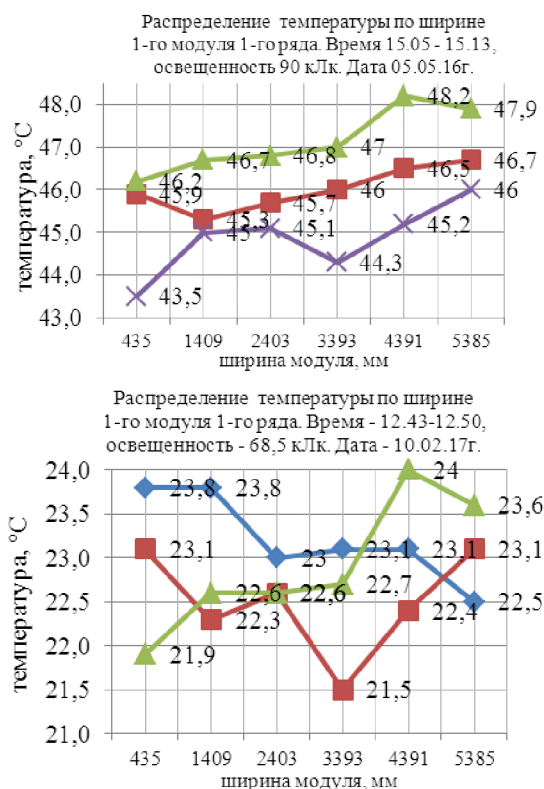


Рис. 9. Распределение температуры 1-го модуля 1-го

ряда по ширине

Температура панелей в летний период имеет стабильный характер всех 18 панелей, средний ряд имеет более высокую температуру, чем верх и низ. Температура панелей зимой имеет обратный характер. Средний ряд панелей имеет меньшую температуру, чем нижние и верхние панели, но первый ряд панелей по оси Е имеет температуру верхней панели более высокую, а нижняя – низкую. По оси А температура верхней панели самая низкая, а верхняя панель имеет большую температуру, (рис. 8).

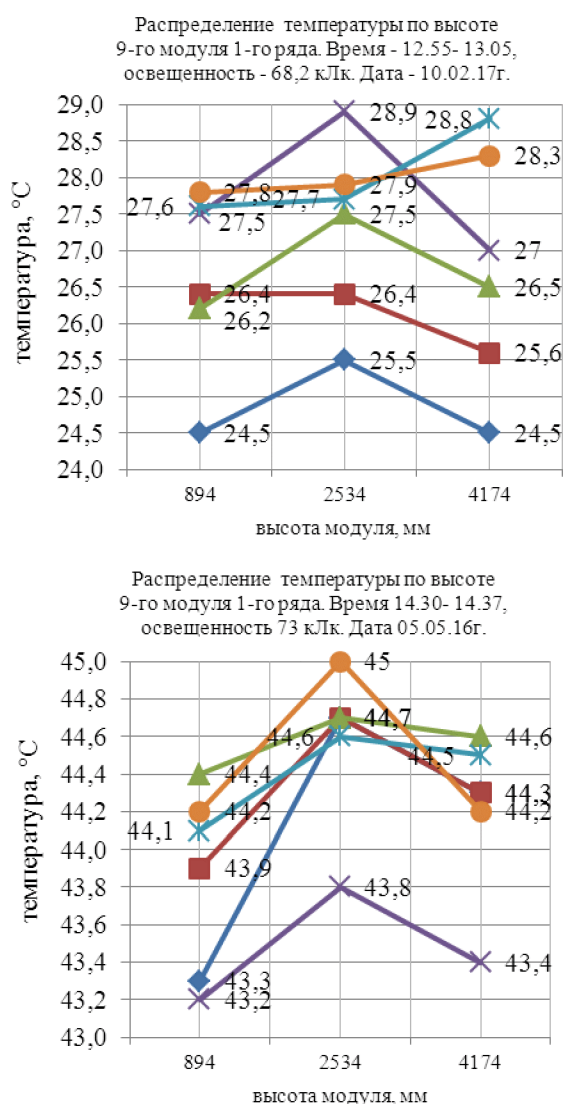


Рис. 10. Распределение температуры по высоте 9-го модуля 1-го ряда по высоте.

В летний период температура панелей имеет один характер – повышение, а затем снижение.

В зимний период температура панелей имеет такой же характер, как и в летний, но по-

казания по оси А и оси В повышаются.

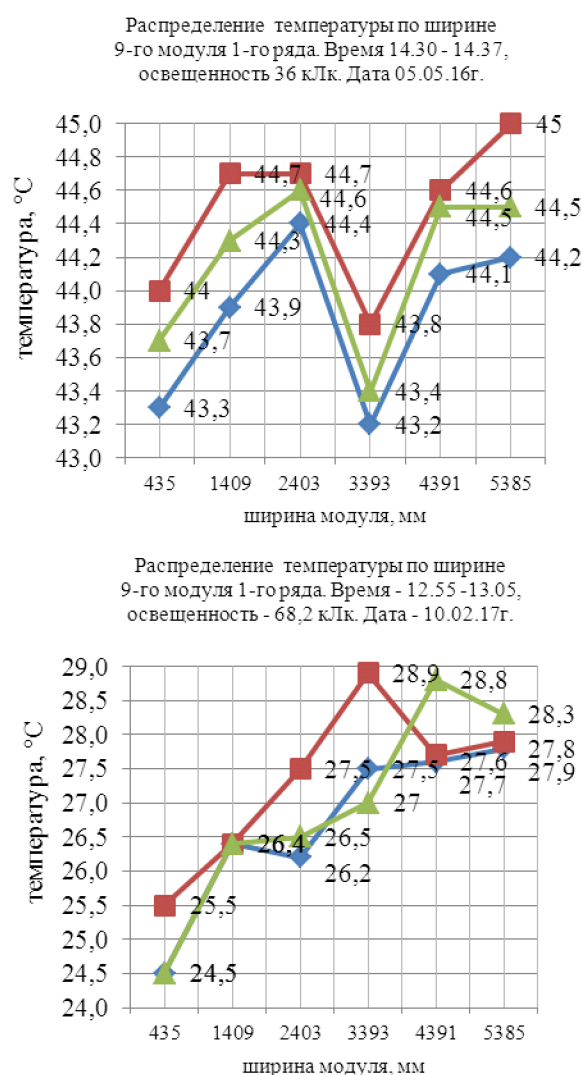


Рис. 11. Распределение температуры 9-го модуля 1-го ряда по ширине.

В летний и зимний период температура на 9-м модуле по трем осям А, Б, В увеличивается. Перепады, как в летний, так и в зимний период составляют около 1-2°C.

Температура панелей в летний период с увеличением высоты увеличивается по всем шести осям от нижней панели до средней, а затем снижается от средней до верхней.

Температура панелей в зимний период имеет такой же характер как и летом, кроме осей Г, Д, Е, где температура панелей повышается с нижней до верхней, а температуры панелей по осям А, Б, В ведут себя как и в летний период. Снижение температуры панелей происходит за счет обдувания воздушным потоком крайних панелей ряда. Скорость ветра при исследовании показала, что по краям ряда поток воздуха имеет большую скорость, чем в сере-

дине ряда.

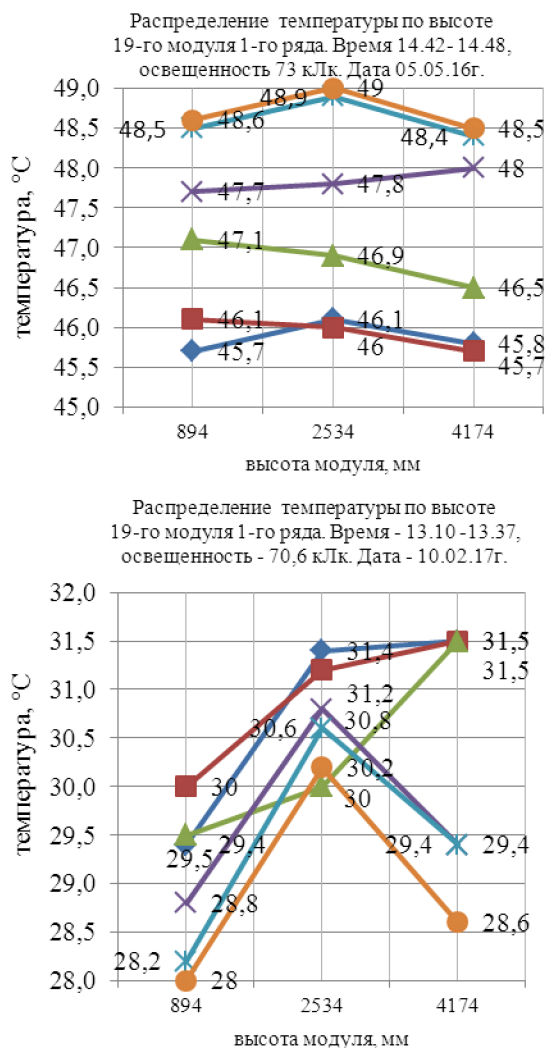


Рис. 12. Распределение температуры по высоте 19-го модуля 1-го ряда.

В летний период температура панелей по трем осям уменьшается: по оси верхней (В) – с 49°C до 46,1°C, оси Б – с 48,6°C до 45,7°C, оси А – с 48,5°C до 45,8°C. Снижение температуры объясняется обдуванием края модуля потоком ветра.

Влияние температуры и освещенности на мощность генерации.

Мощность генерации электроэнергии мы узнаем на экране инвертора, и она зависит от следующего:

- типа модуля, подключенного к инвертору и их количества;
- тип схемы подключения модулей к инвертору и между собой;
- значение освещенности и температуры поверхности модулей.

На станции ООО «Энерджи Севастополь» электрические модули соединяются между собой и подключаются через клеммные коробки к электрощитам постоянного тока.

Каждому щиту (ЩПС) соответствует инвертор, с номинальной мощностью 100 кВт. На станции находятся 25 инверторов [1].

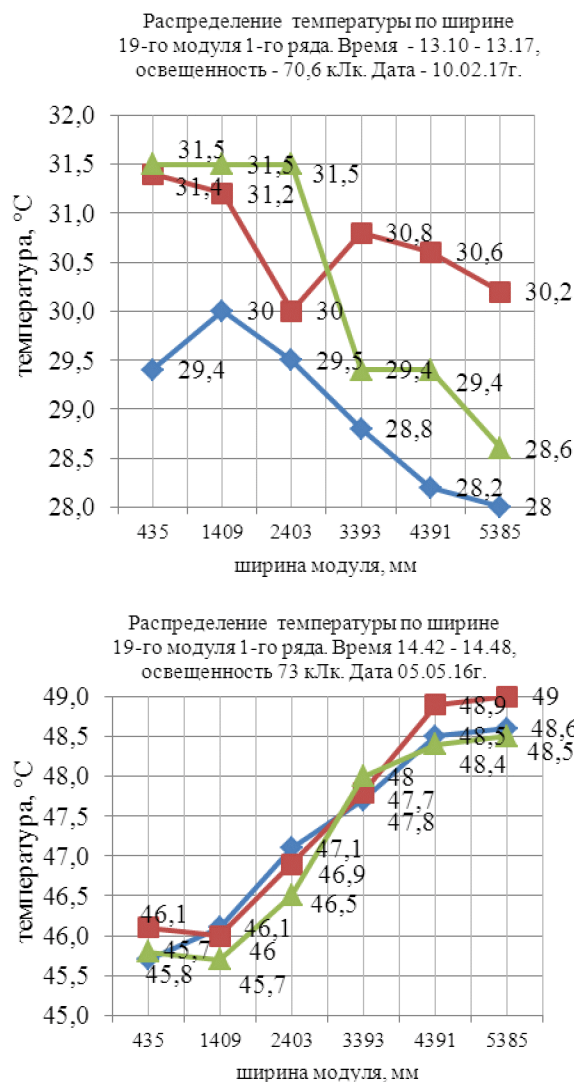


Рис. 13. Распределение температуры по ширине 19-го модуля 1-го ряда.

Каждый инвертор на солнечной станции имеет свой порядковый номер №1, №2, №3... №25. Возле каждого инвертора установлен щит (ЩПС) с номером того инвертора, с которым он установлен (инвертор №1 имеет щит ЩПС №1). К щитам ЩПС подведены кабели с маленьких щитков. Они обозначаются по номеру ЩПС, т. е 4-К-2, 3-К-1, 4-К-1, 3-К-2. Это означает, что к каждому щиту ЩПС подведены два маленьких щита (рис. 2). К каждому маленькому щиту подключены провода с 18 панелей - 18 верхних,

18 средних, 18 нижних, рис. 2. Расположение инверторов на солнечной станции ООО «Энерджи Севастополь» показано на рис. 14.

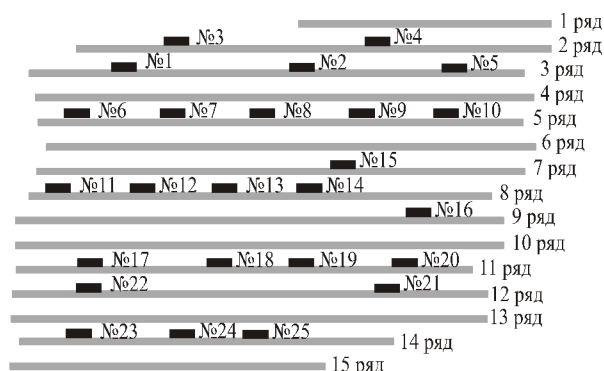


Рис.14. Расположение инверторов на солнечной станции ООО «Энерджи Севастополь»

Показатели всех инверторов сводим в табл. 3. Дата 23.02.17 г., температура воздуха 13 °С, ветер юго-западный, освещенность 50 кЛк, время – 12.30.

Таблица 3. Показатели всех инверторов

№ инвертора	Мощность, кВт	Число оборотов	Напряжение, В	Сила тока, А	Частота, Гц
1	28,80	1168	551	54	50
2	29,02	1167	550	54	49,98
3	35,10	1168	548	63	50
4	35,00	1166	551	65	50
5	25,20	864	545	46	50
6	22,97	864	553	42	50
7	29,24	1200	554	55	49,98
8					
9	28,14	1200	536	53	50
10	27,46	1200	546	52	49,99
11	25,68	1200	536	50	49,99
12	28,13	1136	543	53	50
13	28,62	1200	542	55	49,99
14	31,41	1168	533	65	49,98
15	37,51	1552	538	68	50
16	46,68	1168	554	48	50
17	24,83	1134	547	48	50
18					
19	20,74	832	530	40	49,98
20	20,41	1136	538	39	49,99
21	20,70	1136	536	41	50
22					
23	20,79	864	532	40	49,99
24	20,32	832	499	42	49,98
25	15,19	734	498	28	50

Начало исследования происходит с 1-го ряда и вниз до 15-го ряда. Время – 12.30, освещенность

– 50,0 кЛк, скорость ветра – 3,3 м/с. С 5-го ряда освещенность – 36,6 кЛк, время – 12.53. С 11-го ряда освещенность – 24,0 кЛк, время – 13.45. 4.02.17 г. была зафиксирована остановка (отключение) инвертора, время – 17.48, температура наружного воздуха 6°С, освещенность – 56,0 кЛк, ветер восточный – 0,8 м/с.

Сравним снятые показания на инверторе №4 в летний и зимний период (таб.4).

Таблица 4. Характеристики инвертора №4 станции в летний и зимний периоды.

Дата	Освещенность, кЛк	Мощность, кВт	Температура, °С
05.05.16	73,00	48,79	13,0
07.05.16	84,00	68,02	32,0
09.05.16	87,00	74,73	35,0
10.05.16	66,00	45,43	25,1
12.05.16	82,00	66,86	30,2
14.05.16	71,00	52,92	43,1
26.06.16	94,00	68,73	52,6
25.01.17	31,15	2,27	0,5
30.01.17	48,00	2,97	3,0
03.02.17	17,15	14,15	6,8
04.02.17	5,60	0	6,0
10.02.17	70,80	45,69	5,7
23.02.17	50,00	35	15
24.02.17	84,00	72,43	15

По графику (рис. 16) мы можем наблюдать, что в летний период освещенность и мощность имеют большие значения.



Рис.16. Зависимость мощности от освещенности в зимний и летний периоды.

Несмотря на идентичность панелей инвертор №4, 09.03.2017 г. выдал до 12 ч.29 мин. 240 кВт в час энергии, а инвертор №3 почти в то же время в 12 ч.36 мин. выработал с 7-00 ч. 261 кВт в час энергии, то есть на 21 кВт больше. Реальная разни-

ца в выработке энергии инверторов №4 и №3 составляет 8,6%.

Если рассматривать одинаковую освещенность, например 84 кЛк – летом и зимой, то мощность летом – 68,02 кВт, а зимой – мощность составляет 72,43 кВт. Разница составляет 4,41 кВт. Отсюда следует, что нагрев модуля сильнее летом, чем зимой, при этом снижается мощность вырабатываемой станцией электроэнергии. С ростом освещенности и при меньшей температуре наружного воздуха в зимний период станция может достигать такой же мощности, что и в летний период. Это мы видим по графику на рис. 17.

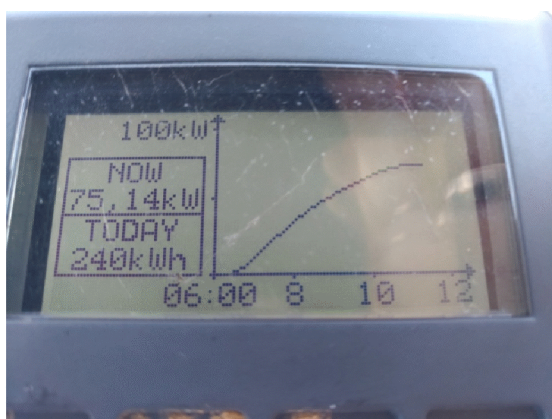


Рис. 17. График мощности на инверторе.

Заключение

Проводя исследования на трехрядной фотоэлектрической солнечной станции ООО «Энерджи Севастополь» мы получили очень интересные результаты:

1. температура панелей в зимнее время мало изменяется по осям, что видно по построенным графикам;
2. мощность инвертора в зимнее время, при такой же освещенности как и летом, возрастает. Это связано со свойствами кремниевых фотоэлементов – с ростом температуры у них падает КПД;
3. реальная разница в выработке энергии инверторов №4 и №3 составляет 8,6%;
4. в зимнее время было зафиксировано отключение инвертора №4 при освещенности 560 Лк, температура наружного воздуха – 6 °С, время 17.48. это необходимо учитывать при расчете выработки солнечной станцией;
5. скорость ветра в зимнее время составляла от 2 до 5 м/с. Преобладал север-

ный ветер;

6. проведен комплекс исследований температуры фотоэлектрических модулей в процессе их функционирования в сопоставлении с результатами мониторинга метеопараметров и характеристик вырабатываемой энергии синхронизированных по времени;
7. на основании исследований построены графики распределения температуры по длине и ширине фотоэлектрических модулей.

Практическая значимость данных исследований состоит в формировании практически обоснованного подхода к прогнозированию выработки электроэнергии фотоэлектрической солнечной станцией, а также в обосновании выбора технологических режимов эксплуатации станции в зависимости от различных метеопараметров и температурных состояний фотоэлектрических модулей. Результаты проведенных исследований могут быть использованы при модернизации солнечной электростанции «ООО Энерджи Севастополь», например, при установке ветрогенераторов на территории станции.

Список литературы

1. В.А. Сафонов, М.А. Низбудный, А.А. Восканян, Н.И. Варминская «Исследование температурного состояния солнечной электростанции ООО «Энерджи Севастополь». «Система контроля окружающей среды», 2016. №5(25). С.-110-118.
2. ГОСТ Р МЭК 61853-1-2013. Модули фотоэлектрические. Определение рабочих характеристик и энергетическая оценка.
3. <http://electric.info/mai/> Как устроена и работает солнечная батарея.
4. <http://ru.m.wikipedia.org/wiki/>
5. Энергомост в Крым - Википедия.
6. <http://ru.m.wikipedia.org/wiki/>
7. Альтернативная энергетика Крыма.

References

1. V.a. Safonov, m. Nizbudnyj, a. Voskanyan, n.i. Warmia "Study of the thermal state of solar power Energy, LLC." Environmental control system Wednesday, 2016. No. 5 (25). S. -110 -118.
2. Gost r IEC 61853-1-2013. Photovoltaic modules. Determination of working characteristics and energy rating.
3. [http://electric.info/mai/how and works the solar battery](http://electric.info/mai/how_and_works_the_solar_battery).
4. <http://ru.m.wikipedia.org/wiki/>
5. "Energy bridge" in Crimea-Wikipedia, the free encyclopedia.
6. <http://ru.m.wikipedia.org/wiki/>
7. Alternative energy in Crimea.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 504.062

Обоснование проведения паспортизации оползней прибрежной зоны Севастополя

Ю.Ю. Климова¹, М.А. Косовская²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия,¹zama@mail15.com, ²sevtania@rambler.ru

Статья поступила 18.01.2017 г.; после доработки 19.01.2017 г.

Аннотация

Рассматриваются причины оползней и обвалов прибрежной зоны Севастополя на примере склона пляжа «Учкуевка». В ходе работы авторами обосновано проведение паспортизации оползней данного региона, которая позволит вести учет изменений оползнеобразования, а также разработать системные природоохранные меры по берегоукреплению, с целью рационального использования пляжей.

Ключевые слова: оползень, прибрежная зона, триггерные эффекты, кадастр оползней, паспортизация, противооползневые мероприятия.

Justification of carrying out certification of landslides coastal zone of Sevastopol

Yu. Yu. Klimova¹, M.A. Kosovskaya²

Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia,

¹zama@mail15.com, ²sevtania@rambler.ru

Received 18.01.2017 y.; received in final form 19.01.2017 y.

Abstract

The reasons of landslides and collapses of a coastal zone of Sevastopol on the example of a slope of the Uchkuyevka beach are considered. During work as authors carrying out certification of landslides of this region which will allow to keep account of changes of landslides is proved, and also to develop system nature protection measures for bank protection, for the purpose of rational use of beaches.

Keywords: landslide, coastal zone, trigger effects, inventory of landslides, certification, actions against landslide.

Введение

В настоящее время развитие оползней распространялось почти на все Азово-Черноморское побережье России.

Активизация оползневых процессов является одной из острых проблем Крыма, где все побережье является зоной повышенного риска схода оползней.

В целом, география процессов оползнеобра-

зования в прибрежных зонах России обширна. Оползни развиты в Краснодарском крае, на Северном Кавказе, в Поволжье, на берегах Дона, в долине реки Кубань, на Южном Урале, в Восточной Сибири, в Приморье, Курильских островах, на островах Сахалин, Итуруп, на Кольском и Камчатском полуостровах.

Согласно данным МЧС России, в стране насчитывается 77 районов, на территории которых находится 291 оползнеопасный массив. В России по

условиям рельефа и геологическим особенностям местности оползнеопасными являются около 40% территории [1], и воздействию оползней подвержено 70% городов.

Так, например, на территории морских побережий Краснодарского края в пределах морских, речных и балочных склонов пораженность оползневыми процессами составляет от 10 до 70% и более в зависимости от геологического строения территории, литологии склонов, их морфологических характеристик и режима осадков. Коэффициент оползневой пораженности возрастает с севера Черноморского побережья к югу и достигает максимальных значений (80%) на современных склонах, сложенных отложениями верхнепалеогенового возраста, в районе Большого Сочи [2].

Также, оползневые явления распространены в странах СНГ и многих прибрежных государствах мира, таких как США, Япония, Новая Зеландия, Италия, Индия, Франция, Китай. Максимальный экономический ущерб от оползней характерен для Японии (4 млрд. долл.), США, Италии и Индии (от 1 до 2 млрд долл. в год). В целом проблема оползней существует для 100 стран мира [3].

Согласно кадастру оползней Крыма, в настоящее время на территории полуострова насчитывается 1589 оползней разной степени активности. 68% из них находятся на южном берегу Крыма (от мыса Айя в Севастополе до мыса Ильи в Феодосии), охватывающих крупные участки прибрежной территории, общей площадью почти 20 км². Оползнями поражено более 45 % полезной территории рекреационной зоны. Значительное их число имеет площадь 1...2 км², а протяженность по 2...3 км каждый. При этом в оползневый сдвиг вовлекаются толщи грунта мощностью до 60 м и более [4].

Обстановка осложняется еще и тем, что на территории Республики Крым 90% всех санитарно-курортных учреждений сконцентрировано на узкой 3-километровой прибрежной полосе моря, где оползневые процессы представляют угрозу для непрерывности транспортного сообщения с курортными районами полуострова и их жизнеобеспечения.

В настоящее время, на многих объектах Крыма, требующих инженерной защиты от оползневых и абразионных процессов, ситуация продолжает ухудшаться и близка к чрезвычайной.

Так, в районе Керчи требуется защита 9 км побережий.

Общая площадь оползневых территорий Феодосии составляет 45 га.

В Ленинском районе площадь оползней составляет 117 га.

В районе Судака укрепления требуют 9,9 км береговой полосы. Общая площадь оползней в этом регионе – 456 га.

В Симферополе оползни разрушают микрорайон Марьино.

В Большой Алуште площадь оползней достигла 614 га, а в Большой Ялте 1681 га.

Необходимо отметить, что оползни широко распространены и в Горном Крыму.

Почти вся территория южных склонов, от мыса Айя до г. Феодосии, в той или иной мере затронута древними или современными оползневыми процессами. Здесь, по данным Крымской оползневой станции, насчитывается свыше 380 активных оползней, а общее их количество превышает 500.

Известны оползневые участки на северных склонах Главной горной гряды, в долинах рек Черная, Кача, Альма, Биюк-Карасу и Кучук-Карасу, на Керченском полуострове и на северо-западном побережье Тарханкутского полуострова. Однако масштаб их проявления меньший; кроме того, эти территории слабо заселены. Поэтому оползни этих районов почти не изучаются.

В последние годы оползнеобразование активно проявляется и в Севастопольском регионе - в районе поселков Кача, Любимовка, Учкеевка, на побережье Балаклавы и мысе Фиолент.

По данным Управления обеспечения мероприятий гражданской защиты г.Севастополя, в населенном пункте и его пригородах зафиксировано почти 120 участков с риском схода оползней в черте береговой линии Черного моря, и порядка 60 участков – в зоне городских застроек. Около третьей части всех этих зон нуждаются в срочном введении мер по устранению риска обрушения оползней. Наибольшим разрушениям подвергаются береговая черта от мыса Лукулл до Учкеевки.

В результате интенсивных абразионных и оползневых процессов каждый год Крым теряет свыше 150 га ценной береговой полосы. При этом, в Крыму только 11 % Азово-Черноморского побережья защищены берегоукрепительными сооружениями от разрушительных природных явлений.

С 1991 года работы по защите Крымского побережья от абразии и оползневых процессов практически не ведутся (постановка потенциально опасных участков на учет, инженерная защита).

Существующие гидротехнические сооружения, многие из которых находятся в аварийном

состоянии, не обеспечивают эффективной защиты соответствующих участков берега.

Активизация оползневых процессов делает невозможным эксплуатацию рекреационных территорий, которыми являются прибрежные зоны, сокращает и уничтожает площадь пляжей, приносит значительный экономический ущерб бюджету рекреационных городов Крыма.

Постановка цели и задач научного исследования

Целью научного исследования является обоснование проведения паспортизации оползней прибрежной зоны Севастополя.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать природные и антропогенные факторы, обуславливающие оползневую активность Крыма и прибрежной зоны Севастополя, на примере склона пляжа «Учкуевка»;
- проследить динамику (за период с 2008 по 2016 гг), выявить триггерные эффекты Учкуевского оползня;
- провести маршрутно-визуальное обследование, выполнить фотосъемку непосредственно на теле оползня, оползневых ступенях и прилегающей территории;
- провести экспресс-анализ отобранной пробы водоисточника у основания оползня;
- разработать системные природоохранные меры по берегоукреплению.

В 2017 году, Севприроднадзор планирует полностью завершить обследование мест, где существует риск схождения оползней, в том числе в рамках городской природоохранной программы и за счёт федеральной субвенции Роснедр (Федерального агентства по недропользованию), что определяет актуальность данной работы.

Анализ природных и антропогенных факторов, обуславливающих оползневую активность Крыма и прибрежной зоны Севастополя, на примере склона пляжа «Учкуевка».

Оползни - широко распространенное в береговой зоне Севастополя геологически обусловленное геодинамическое явление.

Учет опасных оползнями территорий проводится в Севастополе с 1997 года, с тех же пор осуществляются и некоторые противооползневые мероприятия, - например, точечные меры

при реальных рисках катастроф, угрожающих жизнеобеспечения и жизни горожан.

В настоящее время защита от оползней является одной из задач федеральной целевой программы «Социально-экономическое развитие Республики Крым и Севастополя до 2020 года», утвержденной правительством России в 2014 году. Одним из Целевых индикаторов и показателей реализации Программы является протяженность новых и реконструированных сооружений инженерной защиты и берегоукрепления. В этой связи губернатором Севастополя было предложено паспортизировать все оползневые участки, рассчитать стоимость противооползневых мероприятий, подать данные во все структуры исполнительной власти. Особого внимания в данном контексте требует береговая черта по всей административной границе Севастополя, где значительную угрозу для сохранения ценных природных комплексов представляют гравитационные склоновые процессы: оползни, обвалы, осыпи.

Программа реализуется в 2 этапа: I этап - 2015-2017 годы; II этап - 2018-2020 годы.

В Программе указано, что «Обостряется проблема эрозии земель, угрожающий характер приобретают оползневые и абразионные процессы, разрушающие береговую линию, в особенности в прибрежной рекреационной зоне в результате чего под угрозой оказываются многочисленные санаторные комплексы, жилые дома, инженерно-транспортные коммуникации и сооружения», «отсутствуют системные природоохранные меры по сохранению природных ландшафтов».

«Неблагоприятные природные процессы, усиленные воздействием антропогенного фактора, осложняют экологическую обстановку, делают невозможным комплексное и рациональное использование природных ресурсов с точки зрения перспектив рационального, устойчивого хозяйствования, могут вызвать сокращение продолжительности курортного сезона и рекреационного потока».

Склоновые процессы – фундаментальные природные и техногенные явления в окружающей среде, происходящие под действием гравитационных сил. Движение горных масс по склону отличается большим разнообразием [5].

Вся совокупность склоновых процессов объединяется термином «оползень», широко принятым в научной и технической литературе.

Оползень – это отрыв горных масс, их разрушение и смещение вниз по склону под действием силы тяжести по одной или нескольким

поверхностям скольжения.

Оползни могут происходить практически на любых склонах. Они возникают в тех случаях, когда в результате действия природных факторов или техногенной деятельности силы сцепления в массиве горных пород оказываются меньше, чем сила тяжести. Снижение сил сцепления в массиве обычно происходит под действием многочисленных *триггерных* эффектов [6], способствующих зарождению оползня, дальнейшее развитие которого происходит уже под действием гравитационных сил.

Динамика оползней на морском побережье характеризуется постоянными медленными смещениями. Периодически возникают отдельные катастрофические смещения. Возрастание техногенной нагрузки (застройка неблагоприятных участков, фронтальные подрезки грунта склонов без возведения подпорных стен, нагрузка на склон) приводит к нарушению равновесия верхней зоны *геологической среды* - четвертичных (*grQ*) не литифицированных отложений, в большей степени подверженных склоновым гравитационным процессам.

Территория Севастополя неоднородна в физико-географическом отношении. Город занимает южные части Альминской равнины и юго-западные окраины предгорного и горного Крыма. Регион расположен на границе Скифской платформы с мегантиклинорием Горного Крыма. В основе Альминской равнины находятся блоки Скифской платформы. Она сложена плиоценовой и четвертичной значительной по мощности (до 40 – 60 м) толщей пестроцветных, преимущественно глинистых отложений и покровов древних аллювиальных галечников [7,8,9].

Генетически оползни Крыма и береговой зоны Севастопольского региона связаны с особенностями рельефа, геологическим строением и метеорологическими условиями района.

Климат определяет режим сезонных колебаний коэффициента устойчивости склонов, и, следовательно, влияет на время оползневых подвижек.

Современные активные оползни Крыма развиты в пределах депрессии, вытянутой вдоль берега моря на 2,5 км на площади распространения сланцев и песчаников таврической серии. Для оползней здесь характерно медленное, но постоянное смещение земляных масс по склону, чему способствует абразия моря и ослабление прочности оползневых масс за счет их увлажнения подземными водами.

Севастопольский регион только частично можно отнести к Южному оползневому району:

от Балаклавы до м. Сарыч. Большая часть территории относится к Западному и Северному оползневому районам Крыма с преобладанием абразионных оползней на побережье.

В обычных, естественных условиях уровень моря почти повсеместно (за исключением отдельных низинных территорий) расположен ниже уровня подземных вод, насыщающих берега, и разгрузка подземных вод происходит в море. Чаще всего процесс оползнеобразования наблюдается в местах разгрузки водоносного горизонта на поверхности склона в виде ключей и родников, которые в процессе освоения территории оказываются засыпанными грунтом.

Периоды активизации оползней совпадают с влажными периодами. В результате обильного увлажнения грунтов атмосферными осадками их объемная масса возрастает до 20 -30 %, а сопротивление сдвигу снижается до 50 %, а иногда и более, что сопровождается уменьшением коэффициента устойчивости склона, образованием новых и активизацией ранее образовавшихся оползней. Для образования и активизации оползней наиболее благоприятны атмосферные осадки холодного периода года, когда меньше потери на испарение. Поэтому оползни наиболее активны в зимне-весенний период года.

Склоновые процессы активизируются в весеннее время и связаны, в первую очередь, с работой текучих талых вод, то есть делювиальным процессом. С инфильтрацией атмосферных осадков непосредственно связана влажность грунтов - основной показатель их вязко-пластического состояния, приводящего к оползнеобразованию, так как глины могут повышать влажность до 30...38%. Проблему усугубляют повышенные, имеющие четкую сезонную направленность (весенне-летний период) нагрузки, связанные со стихийной рекреацией. Также на процессы оползнеобразования оказывает влияние и волноприбойная деятельность.

В результате подтачивания морем нижнего поддерживающего уступа оползневый склон теряет подпорку, равновесие его нарушается, он падает и скользит в сторону моря. Движущиеся земляные массы наползают на берег, меняют его конфигурацию, сокращают и уничтожают площадь пляжей, делают невозможным их рекреационное использование.

Естественные условия, которые способствуют активизации оползневых процессов, усугубляются антропогенной деятельностью: срезание нижней части склона для проведения, дорог, нагрузка вышележащего склона зданиями, которые со временем обязательно разрушатся. Отсутствие канализации в прилегающих к оползне-

вой территории дачных массивах увеличивает количество воды, проникающей в водоносные слои. Также, активизация оползневых процессов отмечается после сведения лесной растительности в результате пожаров и несанкционированных рубок.

Еще одной причиной оползнеобразования является сейсмичность. Действительно, например, территория Крыма подвержена довольно частым, хотя и небольшим землетрясениям интенсивностью 2 - 4 балла. Подземные толчки способствуют разрушению горных пород, образованию новых трещин, нарушению плотности массивов грунта. В результате землетрясений происходит вибрационное «разжижение» даже совершенно сухого грунта - тиксотропия. Твердые частицы при динамическом воздействии отделяются друг от друга и как бы «всплывают». Если такая разжиженная масса наклонена, она начинает течь, а по ней скользят лежащие выше слои горных пород.

Изучение оползневых явлений, их причин и последствий проводится в целях разработки обоснованных мероприятий по их стабилизации.

Исследования оползней в разных прибрежных районах Причерноморья показывают: волноприбойная деятельность, обводнение массивов грунта подземными водами, сейсмичность, деятельность человека влияют на оползнеобразование почти в одинаковой степени. Недоучет любого из этих факторов может привести к серьезным ошибкам.

Проектирование комплекса противооползневых мероприятий должно основываться на точном анализе причин, вызывающих оползни. Для выбора очередности противооползневых мероприятий необходимо знать, какой фактор влияет на развитие оползней в первую очередь, а какой проявит себя позже.

Для решения обозначенных проблем необходим комплекс инженерно-технических мероприятий, а также меры по сознательному конструированию ландшафтов, которые, к сожалению, до сих пор практически никак не планировались и не реализовывались при градостроительном освоении прибрежных территорий городов Крыма.

В настоящее время проблема контроля оползневых процессов в Севастопольском регионе стоит очень остро. Несмотря на то, что существует достаточное количество методов оценки распространения оползней, изучения динамики их развития, прогноза, рисков.

В Крыму и Севастополе накоплен обширный материал о местах активизации оползней,

их повторяемости и других параметрах. По материалам наблюдений необходимо создать Единый кадастр оползней Севастопольской прибрежной зоны. Для этого необходимо провести паспортизацию самых опасных оползней прибрежной зоны Севастополя, составить кадастры и карты оползней М 1:10000 и 1:5000. Для решения этой проблемы необходим строго ведущийся учет изменений, происходящих в каждом конкретном оползне.

Для прогноза и контроля развития оползней необходимо произвести детальные геологические исследования, произвести инвентаризацию оползневых геолого-геоморфологических систем, теодолитную съемку, фотографирование, картографирование, построение геолого-геоморфологических профилей. В разных геологических условиях оползневые процессы протекают по-разному, что требует в первую очередь провести типизацию оползней, вести регистрацию движения на склонах между опорными реперами, фиксировать анализ вибраций любой природы (сейсмических, техногенных и т. п.), отслеживать уровень грунтовых вод и порового давления, производить геоморфологический анализ фото- и космоснимков. Если угроза признается значительной, то незамедлительно осуществлять специальные противооползневые мероприятия.

Такой подход к паспортизации оползней прибрежной зоны Севастополя позволит прогнозировать развитие опасного геологического процесса, а также разработать качественные противооползневые мероприятия.

Так же важно оценить как экологический риск от развития оползня, так и ущерб, причиненный развитием деформации. Ущерб, причиненный нарушением устойчивости откоса, определяется в денежном выражении. Если ущерб в денежном выражении не может быть определен, то в паспорте дается только описание видов и объемов работ по устранению последствий деформаций.

В паспорте излагаются принятые меры для ликвидации последствий нарушения устойчивости откоса или для предотвращения его дальнейшего развития. Оценивается эффективность примененных противооползневых мероприятий и отмечается их стоимость.

В приложениях к паспорту приводятся графические данные оползня (план, фотоснимки, снимки из космоса). К плану прикладываются разрезы по характерным профилям деформированного участка (2 - 3 разреза), по фронту нарушения устойчивости откоса, выполненные в одинаковых с планом вертикальным и горизон-

тальном масштабах. На разрезы выносятся отдельной колонкой геологическое строение откоса с указанием физико-механических характеристик; положение уровней подземных вод до деформации и их изменение в процессе деформирования; контуры откоса до разрушения и после разрушения; положение поверхности скольжения. По направлению профильных линий наблюдательных станций разрезы даются с указанием мест заложения реперов, векторов их смещений; прилагается ведомость оседаний и смещений реперов. На план и разрезы наносится положение противооползневых сооружений.

Изучение оползневых явлений, их причин и последствий, прогнозирование развития оползневых процессов является основой для выполнения инженерной защиты территорий и проводится в целях разработки обоснованных мероприятий по их стабилизации.

Маршрутно-визуальное обследование Учкеевского оползня, выявление триггерных эффектов

Уже более десяти лет наблюдается активный оползневой процесс береговой зоны от района Радиогорки до поселка Андреевка, в который захвачена территория кемпинга «Учкуевка», пляжа «Учкуевка», садовых товариществ и большой участок сосновых посадок (фото 1).

Первоочередная задача при прогнозе оползней - выявить места присутствия старого обломочного оползневого материала. Визуально при наземных исследованиях оползневый материал не всегда бывает легко определить.

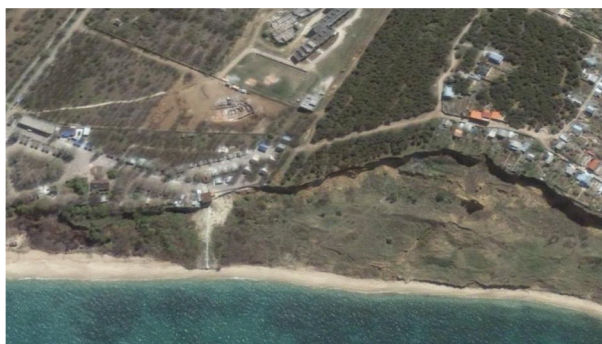


Фото 1. Оползнеопасный склон береговой зоны пляжа «Учкуевка», космоснимок NASA, 2006 г.

Однако на космоснимках контуры оползневых участков и их бугристая поверхность проявляются характерным и очень четким рисунком. Этот диагностический признак весьма важен для изучения площади оползнеобразования, и для выявления новых потенциально оползнеопасных

зон или участков.

Песочно-галечный пляж «Учкуевка» считается одним из лучших пляжей Севастополя, его протяженность более 1,5 км, ширина несколько десятков метров, граничит с лесопарком и сосновыми рощами.

В процесс оползнеобразования и обвалов вовлечена южная часть пляжа (фото 2).

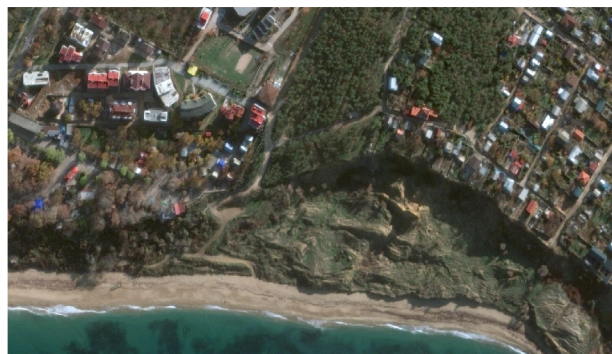


Фото 2. Оползнеопасный склон береговой зоны пляжа «Учкуевка», космоснимок из сервиса «Google Планета Земля», 2016 г.

Название пляжу дала деревня Уч-Кую (Три колодца), находившаяся здесь в 18-19 веках. У развилки дороги на поселок Учкуевка в 1786 году был установлен верстовой знак, по приказу графа Григория Потемкина, по предполагаемому пути следования императрицы Екатерины Великой из Петербурга в Крым. Верстовой знак - Екатерининская миля сохранился до сих пор, является памятником архитектуры и истории - один из самых старых памятников Севастополя. Таких знаков в Крыму осталось всего 5.

Учкуевский оползень (№ 921 в Кадастре оползней Крыма). До 2002 г. являлся одним из самых активных оползней Западного района, вследствие интенсивного, длительного рефулирования донных песков, обследован в 1965 г. и занесен в паспорт. Постоянно (несколько раз в год) обследуется с 1972 г. С 2014 г. наблюдается его активизация, вследствие пригрузки тела оползня в центральной части отвалом грунтов при срезке склона у бровки головного срыва (во время строительства гостиницы).

Для изучения причин активизации оползневого процесса пляжа и выявления триггерных эффектов были проведены маршрутные наблюдения на территории всего исследуемого оползнеопасного склона и прилегающих зон.

В задачу маршрутных наблюдений входило:

- описание состояния поверхности склона и его характерных особенностей на отдельных оползневых и обвальных участках;

- выявление проявлений свежей эрозионной или абразионной подсечки склонов;
- установление пространственных закономерностей оползневых деформаций на склоне (границ участка активного оползня);
- установление характера хозяйственного использования территории, техногенных воздействий, преобразований рельефа, почв и растительности, сбор фотоматериалов.

В процессе рекогносцировочного обследования были установлены морфологические и морфометрические характеристики оползня и выявлена важная причина возникновения обвалов и активизации оползневого процесса - гидрогеологическая. Так, в 2009 году на побережье нами было обнаружено 2 источника - выходы подземных вод на поверхность, засыпанных грунтом после предыдущих обвалов, которые произошли тогда около 5 лет назад, – источники постоянного обводнения основания склона.

В 2016 году было обнаружено уже 4 выхода водных источников на песчаный пляж, измерен дебит одного из них, самого многоводного, он равен 4 л/мин, фото 3.



Фото 3. Один из постоянных водных источников у основания оползня, апрель 2016 г.

Необходимо отметить, что один постоянный многодебитный источник был здесь еще в 80-е годы прошлого столетия выше по склону и был, очевидно, засыпан грунтом при строительстве ограждения кемпинга «Учкуевка». В этом источнике жили гамбузии - самая мелкая пресноводная рыба из акклиматизированных в Крыму, в 30-е годы прошлого века, когда велась борьба с малярией. Анализ литературных данных показал, что в настоящее время Хольбрукская гамбу-

зия (*Gambusia holbrooki*) встречается во многих пресноводных водоемах Крыма [10].

Кроме того, утечки из коллекторов кемпинга, его асфальтированная территория без дренажной системы, неконтролируемый сток во время полива в дачных товариществах, расположенных выше кромки обрыва оползня, канализационные стоки способствуют возникновению суффозионных процессов.

Ретроспективный обзор показывает, что в 2008 году металлическое ограждение кемпинга «Учкуевка» частично обвалилось, обнажились фундаменты домиков, предприятий общепита, находящихся прямо на кромке обрыва. Была полностью разрушена лестница, связывающая территорию кемпинга с пляжем. Разрушение и смещение лестницы происходило на протяжении трех лет (фото 4).

После того как за пределами ряда посадок возникли трещины и сформировались стенки обрыва или оползания, наличие деревьев (сосен) на уступе привело к тому, что грунт передвигался вниз по склону целыми блоками. Также отмечается развитие солифлюкции (фото 5).



Фото 4. Разрушенная и смещенная оползнем лестница – выход с кемпинга на пляж, апрель 2008г.



Фото 5. Наползание оползневых масс на береговую зону, апрель 2016г.

По нашим наблюдениям, катастрофические подвижки берегового склона связаны не только с антропогенными, но и с климатическими факторами. Обвалы произошли в богатые осадками зимне-весенние периоды, и каждому из них предшествовали сильные и продолжительные

дожди. Последний масштабный обвал произошел в марте 2009 г. (фото 6).

Дождевые воды фильтруются в землю, достигают залегающие в основании береговых склонов глинистые породы, увлажняют и даже разжижают их. В результате весь массив грунта ослабляется, перестает быть устойчивым, и, наконец, наступает момент, когда он теряет равновесие и начинает сползать вниз. Также промерзший за зиму грунт с приходом теплых дней отдает влагу, что активизирует оползневой процесс и вызывает обвалы.

Оползень привел к смещению берега в сторону моря и опусканию довольно больших площадей прибрежной территории (фото 7).

Непосредственной причиной схода оползней в данном случае являются провоцирующие факторы (*триггеры*): ливни, техногенные процессы (прорывы водоводов, земляные работы, вибрация от транспорта), резкие перепады давления на фоне обильных осадков. Интенсивность разрушения усиливается из-за гидрогеологического строения побережья, в частности, чередования песчаных и глинистых прослоев в породах и многочисленных выходов грунтовых вод.



Фото 6. Стенка срыва оползня (вид сбоку) далее ниже – обвальные массы, уже задернованные, с растительностью, тропинками, местами под костры и т.п.

В 2016 году нами было обнаружено уже 4 выхода источников на песчаный пляж. В апреле 2016 года был проанализирован самый многодебитный водоисточник, по всей видимости, влияющий на динамику развития исследуемого объекта. Был проведен *экспресс-анализ* отобранной пробы. Выявлено, что жесткость воды в свежей воде – 12 мг-экв/л, в отстоянной – 8 мг-экв/л, что характерно для артезианской воды.



Фото 7. Территория оползня

Этим же критериям соответствовали как органолептические показатели (прозрачность воды (40 см), цвет воды (прозрачно-голубой), мутность (отсутствует), запах (отсутствует), так и реакция среды ($\text{pH} = 7$). Дебит самого многоводного источника равен 4л/мин. Высокая жесткость воды показывает активность процесса суффозии, что вероятно опять приведет к просадкам грунта и обвалам.

В апреле 2016 года, ближе к кемпингу, где собственно и происходит обводнение основания оползня, также видно место разгрузки водоносного горизонта на поверхность террасы, где происходит застой воды и заболачивание. Особенности рельефа, геологического строения и нарушенность склона оползневыми и эрозийными процессами способствуют аккумулярованию атмосферных и грунтовых вод в толще склона. В этом месте в растительных сообществах преобладают ассоциации пырея ползучего, который является мезофитом и в настоящих условиях выступает индикатором близкого залегания грунтовых вод, также в нижней части склона - заросли ежевики и осоки.

Кроме того, количество воды, проникающей в водоносные слои склона резко увеличивается в летний сезон - это утечки из коллекторов кемпинга, сток с его асфальтированной территории без дренажной системы, неконтролируемый сток во время полива в дачных товариществах, расположенных выше кромки обрыва оползня, канализационные стоки также способствуют возникновению суффозионных процессов.

В районе дачных товариществ, кромка обрыва находится на расстоянии 20м от домов, и, не смотря на это, все равно продолжается интенсивная систематическая застройка, что подтверждается в ходе сравнительного анализа космоснимков за исследуемый период.

После того как за пределами ряда посадок сосны возникли трещины растяжения и сформировались стенки обрыва или оползания, наличие деревьев на уступе привело к тому, что грунт

передвигался вниз по склону целыми блоками. В результате движущиеся земляные массы напозли на берег, изменили его конфигурацию, сократили площадь пляжа.

Несколько лет назад часть оползня, которая находится ближе к кемпингу, была выположена и образовался склон (укрепленный сейчас по краю саженцами туи), по которому осуществляется съезд автомобилей на одну из оползневых террас и частично на тело оползня. Также, образовались пешеходные тропы прямо через кромку обрыва оползня на террасу, для спуска рекреантов к пляжу, что создает дополнительную нагрузку на склон и может спровоцировать обвал.

За период наблюдений с 2008 года по 2016 год возможное приращение площади оползня, характер и величина оползневых деформаций, трещин растяжения, устанавливались путём визуального обследования поверхности оползня и прилегающих частей склона. Наблюдается слабая активизация оползневого процесса.

По нашим наблюдениям, непосредственной причиной оползнеобразования и обвалов берега в данном случае являются провоцирующие факторы (триггеры): обильные атмосферные осадки (один из мощных обвалов произошел в марте 2009 г.), обводнение склона грунтовыми водами, техногенные процессы (нагрузка на склон, вибрация от автотранспорта, отсутствие водонесущих коммуникаций, застройка основания оползня).

Необходимо отметить, что полученные в работе [11] результаты оценки экологического риска - оползневого и интегрального, за период с 2010-2012 гг., также, отражают сложившуюся негативную ситуацию в зоне воздействия Учкунского оползня, связанную с неконтролируемой и продолжающейся в последние годы, высокой освоенностью данной территории под застройку, без осуществления необходимых инженерно-технических мероприятий.

Оползень относительно стабилен, что подтверждается его значительной задернованностью. Проявляются свежие микротрещины в районе ограждения кемпинга. В соответствии с существующими классификациями оползней, оползень находится в стадии вторичных смещений.

В качестве прогноза возможна катастрофическая активизация оползня, захват в оползневой процесс и смещение новых областей грунта, так, например, 2 декабря 2016 г. на мысе Фиолент, в районе туристической базы произошло обрушение зоны площадью 250 м², которая является частью берега и дороги, а 25 декабря 2016 года в п. Кача - Нахимовский район г.Севастополя

произошло обрушение берега с дачными строениями.

Заключение

Обосновано проведение паспортизации оползней прибрежной зоны Севастополя, которая позволит вести учет изменений оползнеобразования, а также разработать системные природоохранные меры по берегоукреплению, для рационального использования пляжей, для этого необходимо:

- провести комплексное исследование побережья на государственном уровне, с учетом всех природных и хозяйственно-технических факторов для предотвращения оползневого процесса и обвалов; проводить систематический геофизический мониторинг оползневых и обвальных процессов на побережье; выполнить паспортизацию оползней прибрежной зоны Севастополя, создать *Кадастр оползней Севастопольской прибрежной зоны*;
- для стабилизации оползней рекомендуется применить обрушение потенциально опасных участки берега, террасирование оползневых склонов, дренаж, ликвидирующий обводнение нижней части склона и технологически современные подпорные конструкции для защиты и обеспечения устойчивости склонов, используя международный опыт;
- в максимально короткие сроки должно быть разработано современное природное обоснование берегозащитных мероприятий; мониторинг береговой зоны должен обеспечить постоянное уточнение и корректировку природного обоснования.

Список литературы

1. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации /под ред. С. К. Шойгу. - М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картография», 2005. - 270 с.
2. Катастрофы и общество. - М.: «Контакт-Культура», 2000. - 333 с.
3. Говорушко С.М. Влияние геологических, геоморфологических, метеорологических и гидрологических процессов на человеческую деятельность: иллюстрированное справочное пособие / С.М. Говорушко, А.И. Кравченко. - М.: Академический Проект, 2007. - 299 с.
4. Разумов Г.А. Тонущие города/Г.А. Разумов, М.Ф. Хасин. - М. Стройиздат, 1991. - 256с.
5. Болт Б.А. Геологические стихии / Б.А. Болт, У.Л. Хорн, Г.А. Макдональд. - М.: МГУ, 1987. - 51с.

6. Триггерные эффекты в геосистемах: материалы Всероссийского семинар-совещания (Москва, 22–24 июня 2010 г.) / под ред. В.В.Адушкина, Г.Г. Кочаряна. – М.: ГЕОС, 2010. – 347 с.
7. Казанцев Ю.Б. Тектоника Крыма / Ю.Б. Казанцев. – М.: Наука, 1982. – 112 с.
8. Позаченюк Е.А. Геоэкологическая экспертиза административных территорий / Е.А. Позаченюк, Т.В. Панкеева. – Большой Севастополь: Бизнес-Информ, 2008. – 296 с.
9. Геология СССР. Т.VIII. Крым. ч.I. Геологическое описание. – М.: Недра, 1969. – 576 с.
10. Карпова Е.П. Чужеродные виды рыб в пресноводной ихтиофауне Крыма / Е.П.Карпова // Российский Журнал Биологических Инвазий, 2016.-№ 3.- С.47-60.
11. Садыкова Г.Э. Оценка экологического риска в пределах прибрежных защитных полос при градостроительном освоении морского побережья Крыма / Г.Э. Садыкова //Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. – Симферополь: НАПКС, 2013. – Вып. 45. – С. 103-107.
- territoriy[Geoenvironmental assessment of administrative territories]. Big Sevastopol: Biznes-Inform Publ., 2008, 296p.
9. *Geologiya SSSR. T.VIII. Kryim. ch.I. Geologicheskoe opisanie* [Geology of the USSR. T.VIII. Crimea. p. I. Geological description].M.: Nedra Publ.,1969, 576p.
10. Karpova E. P. Alien species of fish in a freshwater fish fauna of the Crimea. *Rossiyskiy Zhurnal Biologicheskikh Invaziy*, 2016, No 3, pp.47-60. (In Russian)
11. Sadykova G. E. Assessment of environmental risk within coastal protective strips at town-planning development of the sea coast of the Crimea. *Stroitelstvo i tehnogennaya bezopasnost. Sb. nauch. Trudov*, 2013, Vol.45, pp.103-107. (In Russian)

References

1. Shoygu S. K. (Ed.). *Atlas prirodnih i tehnogennyih opasnostey i riskov chrezvyichaynyih situatsiy v Rossiyskoy Federatsii* [The atlas of natural and technogenic dangers and risks of emergency situations in the Russian Federation.]. M.: IPTs «Dizayn. Informatsiya. Kartografiya» Publ., 2005, 270 p.
2. *Katastrofy i obschestvo* [Accidents and society]. M.: Kontakt-Kultura Publ., 2000, 333 p.
3. Govorushko S.M., Kravchenko A.I. *Vliyanie geologicheskikh, geomorfologicheskikh, meteorologicheskikh i gid-rologicheskikh protsessov na chelovecheskuyu deyatel'nost: illyustrirovannoe spravochnoe posobie* [Influence of geological, geomorphological, meteorological and hydrological processes on human activities: the illustrated handbook]. M.: Akademicheskiiy Proekt Publ., 2007, 299p.
4. Razumov G.A., Hasin M.F. *Tonuschie goroda*. [The sinking cities]. M. Stroyizdat Publ., 1991, 256p.
5. Bolt B.A. *Geologicheskie stihii* [Geological elements]. M.: MSU Publ., 1987, 51p.
6. Adushkin V.V., Kocharyan G.G. (Eds.) *Triggernye ehffekty v geosistemah* (Moskva, 22–24 iyunya 2010 g.): materialy Vserossijskogo seminar-soveshchaniya [Trigger effects in geosystems (Moscow, on June 22-24, 2010): materials All-Russian seminar meeting]. M.: GEOS, 2010, 347 p. (In Russian)
7. Kazantsev Yu.B. *Tektonika Kryima* [Tectonics of the Crimea]. M.: Nauka Publ., 1982, 112p.
8. Pozachenyuk E.A., Pankeeva T.V. *Geoekologicheskaya ekspertiza administrativnykh*

УДК 504.3.054(470)

Анализ активности пероксидазы и каталазы древесных насаждений в условиях локального воздействия эксгалатов

М.А.Косовская¹, Т.К.Хренова², В.В.Бибикова³

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, ¹ masha.korneva.sevtania@rambler.ru ² hugo1349@mail.ru ³
vera240393@yandex.ru

Статья поступила 24.01.2017 г.; после доработки 26.01.2017 г.

Аннотация

Использование инструментальных методов анализа загрязнения при их высокой точности не дает полной картины экологической ситуации, особенно в отношении атмосферного воздуха. Анализируя жизненное состояние растения в составе зеленых насаждений города, методами фитомониторинга, мы приобретаем возможность определения ответных реакций, интегрированных во времени и пространстве. По активности каталазы и пероксидазы можно оценить устойчивость древесных пород к неблагоприятным городским условиям и степень подавления у них экологических и санитарно-гигиенических функций.

Ключевые слова: экологическая ситуация, урбанизированная среда, эксгалаты, предприятия-загрязнители, высшие древесные насаждения, каталаза, пероксидаза, ферментная активность.

Analysis of activity of peroksidazy and katalazay of arboreal planting in the conditions of local influence of eksgalatov

М.А. Kosovskaya¹, Т.К. Hrenova², V.V. Bibikova³

Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia,
¹ masha.korneva.sevtania@rambler.ru ² hugo1349@mail.ru ³ vera240393@yandex.ru

Received 24.01.2017 y.; received in final form 26.01.2017 y.

Abstract

Using of instrumental methods of analysis of contamination for their high exactness does not give the complete picture of ecological situation, especially in regard to atmospheric air. Analysing the vital state of plant in composition the green planting of city, by the methods of fitomonitoringa, we acquire possibility of determination of return reactions, computer-integrated in time and space. On activity of katalazy and peroksidazy it is possible to estimate stability of arboreal breeds to the unfavorable city terms and degree of suppression for them ecological and sanitary-hygienic functions.

Keywords: ecological situation, urbanizirovanaaya environment, eksgalaty, predpriyatiya-zagryazniteli, higher arboreal planting, katalaza, peroksidaza, enzymic activity.

Введение

В связи с ухудшением экологической ситуации в Севастополе, высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха от стационарных и передвижных источников загрязнения Постановлением Правительства Севастополя от 26.06.2015 г. № 553-ПП утверждена государственная программа «Охрана окружающей среды

и рациональное использование природных ресурсов города федерального значения Севастополя на 2015 – 2017 годы». В дальнейшем 17 ноября 2016 г. N 1091-ПП Правительством города было опубликовано Постановление Правительства Севастополя «Об утверждении государственной программы города Севастополя «Экология и охрана окружающей среды города Севастополя» на 2017 - 2020 год».

Основной целью этих документов является обеспечение экологической безопасности, сохранение экосистем и воспроизводство природных ресурсов. Одной из приоритетных задач Программы, является развитие территориальной системы государственного экологического мониторинга города Севастополя, причем мониторингу атмосферного воздуха в городе Севастополе придается приоритетное значение, что приводит к необходимости не только увеличения количества уже имеющихся стационарных постов наблюдения, но и применения альтернативных способов анализа качества атмосферного воздуха с помощью, например, фитомониторинговых исследований.

Взаимосвязь качества атмосферного воздуха в городской среде и состояние городских насаждений может быть использована в экологическом мониторинге окружающей среды. Одним из способов контроля атмосферного воздуха в городе является биоиндикация. На основе ответных адаптивных реакций растений на состояние окружающей среды разработаны методы фитоиндикации, которые являются основой фитомониторинга. Фитоиндикация – метод оценки качества окружающей среды, который основан на применении в системе фитомониторинга определенных видов растений, обладающих высокой чувствительностью к действию эксгалатов. [1-4]. В отдельных случаях фитоиндикация обладает преимуществами по сравнению с аппаратным контролем, такими как относительная быстрота и простота проведения исследования, получение достаточно точных результатов. Кроме того в качестве тест-объектов используется большое количество различных растительных объектов, характерных для исследуемой местности [5].

Общая оценка загрязнения атмосферного воздуха г. Севастополя

Исследование загрязнения воздушного бассейна имеет большое значение для оценки антропогенной нагрузки и разработки природоохранных мероприятий. При этом ряд исследователей отмечают, что в городах заметно меняется состав воздуха. В урбосреде повышено содержание углекислого газа и различных газообразных и пылевидных токсикантов [6]).

В настоящее время трудно дать полную характеристику всех вредных эксгалатов, так как их количество и удельный вес в загрязненном воздухе быстро изменяются, в результате взаимодействия веществ образуются новые соеди-

нения, нередко даже более токсичные, чем исходные компоненты [7].

Эксгалаты, выбрасываемые в атмосферу, характеризуются следующими параметрами: величина частицы, электромагнитный спектр, скорость оседания под действием силы тяжести. Николаевский В.С. выделяет пыль (диаметр частиц от 0,5 до 2000 мкм, спектр в инфракрасной области от 420 до 0,7 мкм, скорость оседания близка или соответствует закону Стокса); пары и туманы (диаметр частиц от 0,03 до 100 мкм, спектр в видимой области, скорость оседания меньше, чем у пыли), дым (размер частиц от 0,01 до 1 мкм, спектр в ультрафиолетовой области, скорость движения частиц в результате броуновского движения превышает скорость оседания).

По химическому составу (с учетом токсического действия на растения) эксгалаты можно разделить на: кислые газы, обладающие наибольшей токсичностью для растений (фтор, хлор, сернистый и серный газы, оксиды азота, угарный газ, оксиды фосфора, сероводород); пары кислот (соляной, азотной, хлорной, фосфорной, серной и органических, туман серной и соляной кислот); оксиды металлов (свинца, мышьяка, селена, цинка, магния и других); щелочные газы (аммиак); пары металлов (ртуть); различные органические газы и канцерогенные вещества (предельные и непредельные углеводороды, фенол, четыреххлористый углерод, сероуглерод и др.) [7]. Источниками попадания в атмосферный воздух города эксгалатов являются как передвижные, так и стационарные источники. В Севастополе мониторинг состояния атмосферного воздуха осуществляется на стационарном посту наблюдения, который обслуживается Региональным центром по гидрометеорологии в Республике Крым.

На рис.1 показаны выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников за период 2009-2015 г.г.

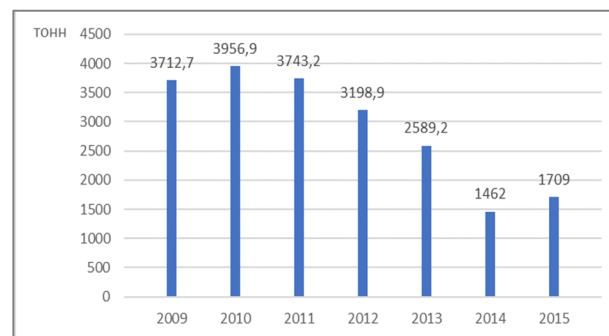


Рис. 1. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников.

По данным Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по городу Севастополь (Севастопольстат) в 2015 году суммарные выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников в атмосферный воздух на территории города Севастополь составили 1,709 тыс. тонн и увеличились в сравнении с 2014 годом на 15% (рис.1).

Основными предприятиями-загрязнителями атмосферного воздуха г. Севастополя являются:

- ОАО «Мобильные ГТЭС» - 44%;
- ГУП города Севастополя «Севтеплоэнерго» – 41%;
- ГУП города Севастополя «Водоканал» – 20%;
- АО «Балаклавское рудоуправление им. А.М. Горького» – 12,4%;
- ООО «СГС Плюс» – 5,25%.

В 2016 году экологическая ситуация в целом, согласно мониторинговым исследованиям, не изменилась.

Среднемесячная концентрация по городу, в кратности ПДК, за 2016 год представлена на рис. 2 (согласно данным Федерального государственного бюджетного учреждения «Крымское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»).

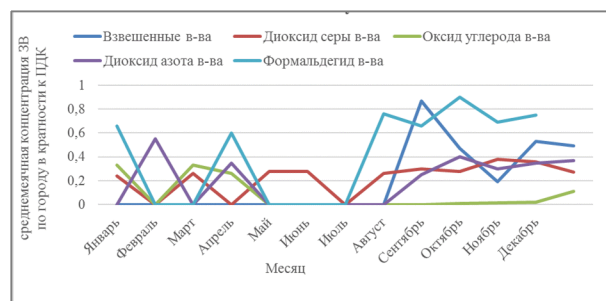


Рис. 2. Среднемесячная концентрация ЗВ, в кратности ПДК в 2016 году.

Анализируя данные, представленные на рис.3 видно, что в январе 2017 г. установлено превышение среднесуточной предельно-допустимой концентрации взвешенных веществ в 1,7 раза, а также незначительное увеличение концентрации диоксида серы в атмосферном воздухе.

Следует отметить, что основными источниками экссалатов является автомобильный транспорт.

За последние годы в г. Севастополе заметно вырос автотранспортный поток. По данным ГИБДД, в 2000 году парк зарегистрированных в

городе автомобилей, составлял 18 тыс. единиц, а уже на 31 декабря 2014 года в городе насчитывается 112 тыс. единиц автотранспорта. Нетрудно подсчитать, что за прошедшие 14 лет численность только зарегистрированных в Севастополе автомобилей увеличилась в 6 раз.

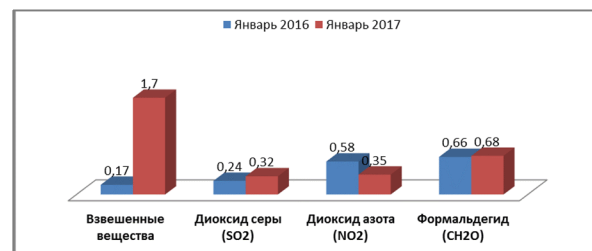


Рис. 3. Динамика изменения концентраций ЗВ в кратности ПДК.

По данным главного управления МВД России по Севастополю с 2014 по 2016 в городе увеличилось количество автомобилей на 20%. В абсолютных цифрах — на 25-30 тысяч автомобилей.

Природные ресурсы города Севастополя перспективны для развития областей хозяйства, связанных с отдыхом и туризмом, однако несут значительную нагрузку в летний сезон в связи с ростом неорганизованного туризма и наплывом иногородних автомобилей с материковой России и Украины.

Автомобильный транспорт загрязняет атмосферный воздух токсичными компонентами отработанных газов, парами топлива, и продуктами износа шин [8].

Продукты сгорания топлива автомобильных двигателей содержат различные компоненты, загрязняющие окружающую среду, такие как: оксид углерода, несгоревшие углеводороды, оксиды азота и сажа. Кроме перечисленных соединений, в выхлопных газах могут присутствовать альдегиды, оксиды серы и другие вредные (загрязняющие) вещества.

В настоящее время при анализе состава воздуха на шоссе с умеренным движением автотранспорта, исследователи обнаруживают присутствие от 3800 до 6900 фрагментов шин в каждом кубическом метре воздуха, более 58% из них оказались размером менее 10 микрон. Из каждой шины автомобиля при его эксплуатации, в результате износа в течение года, в окружающую среду выбрасывается в среднем 1,14 кг шинной пыли и мелкодисперсного аэрозоля [8]. Кроме того, в процессе эксплуатации автомобильные шины, выделяют в окружающую среду летучие вещества и мелкие частицы в виде аэрозоля ме-

таллов кадмия, свинца, цинка, молибдена (до 60% от всех загрязняющих и опасных для здоровья веществ).

Данные по передвижным источникам, а именно по автомобильному транспорту города за 2014-2015 гг. отсутствуют. Контроль выбросов от автомобилей практически не ведется, и таким образом, не учитываются данные выбросы при анализе суммарного загрязнения атмосферного воздуха города. Поэтому приводимые цифры (согласно данным Федерального государственного бюджетного учреждения «Крымское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды») не показывает фактического аэротехногенного загрязнения.

В условиях загрязнения биосферы, когда присутствия загрязнителей в окружающей среде объективно избежать нельзя, важное значение приобретает установление предельных, или максимальных, значений их содержания, при которых эти вещества не оказывают негативно-го воздействия на биосферу. При этом для анализа атмосферного воздуха применяется санитарно-гигиеническое нормирование, направленное на сохранение в первую очередь здоровья человека и охрану окружающей среды. Необходимо отметить, что нормирующие показатели для растений значительно ниже, чем для человека. Например, ПДКс.с диоксида серы для человека - $0,05 \text{ мг/м}^3$, а для растений – $0,015 \text{ мг/м}^3$ [2]. Такие различия в нормативных показателях приводят к ярко выраженным заболеваниям древесных насаждений в условиях не превышения ПДКс.с основных загрязняющих веществ. На рис.4, 5, 6, 7 показана зависимость ПДКс.с для здоровья человека, древесных насаждений и фактического атмосферного загрязнения.

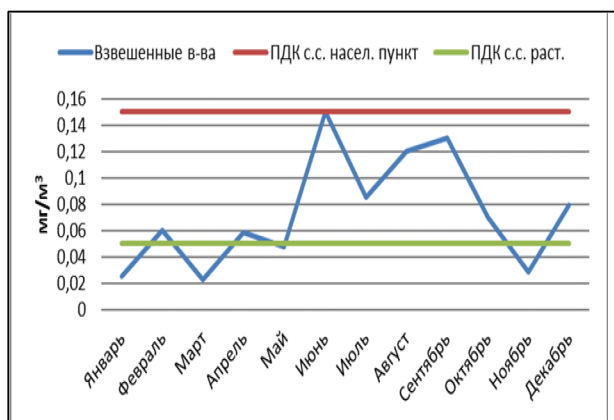


Рис. 4. Зависимость ПДКс.с для здоровья человека, древесных насаждений и фактического атмосферного загрязнения по взвешенным веществам.

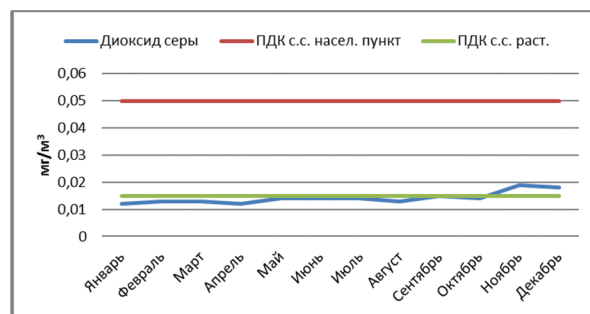


Рис. 5. Зависимость ПДКс.с для здоровья человека, древесных насаждений и фактического атмосферного загрязнения по диоксиду серы.

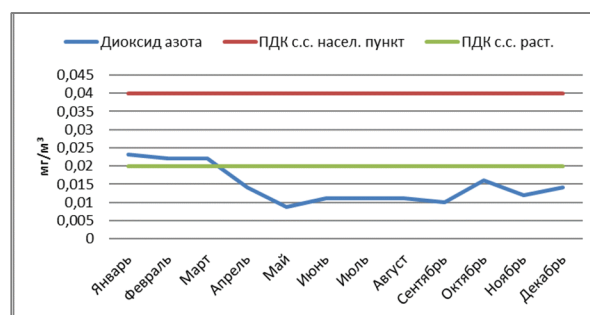


Рис. 6. Зависимость ПДКс.с для здоровья человека, древесных насаждений и фактического атмосферного загрязнения по диоксиду азота.

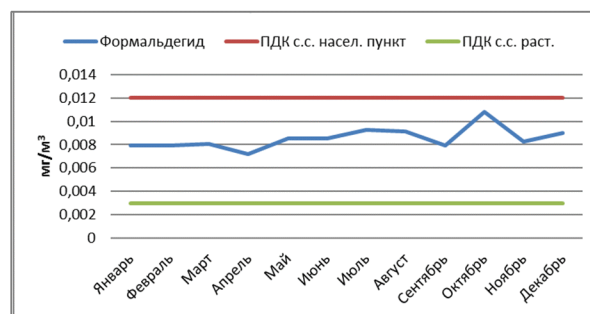


Рис. 7. Зависимость ПДКс.с для здоровья человека, древесных насаждений и фактического атмосферного загрязнения по формальдегиду.

Показатели исследуемых эксгалатов атмосферного воздуха города Севастополя: диоксид серы, диоксид азота, взвешенные вещества, формальдегид, не превышают параметров санитарно-гигиенических нормативов ПДКс.с. для населенных пунктов, в тоже время они в большей или меньшей степени превышают ПДКс.с. для растений. Особенно наблюдается превышение по взвешенным веществам в период вегетации. Пылевидные частицы, содержащиеся в воздухе во взвешенном состоянии, оседают на надземных органах растений и создают дополнительный экран на пути проникновения лучей

к хлоропластам, а также они могут поступать во внутренние ткани листа и нарушать физиологические и биохимические процессы.

Таким образом, мы можем говорить о хроническом воздействии на древесные растения атмосферных загрязнителей, которые способны вызывать общесанитарный эффект, и ответную реакцию со стороны организма.

Ответные адаптивные реакции растений на действие эксгалатов

Анализ воздействия основных эксгалатов на растения является весьма актуальным [9, 10].

Наибольшее воздействие на растения оказывают эксгалаты, выбрасываемые от автомобильного транспорта. При неполном сгорании образуются углеводороды выхлопов топлива (этан, метан, бензол, ацетилен и др.), которые обладают высокой токсичностью и канцерогенностью. Наиболее выражены данные свойства у ароматического углеводорода бенз(а)пирена. Ультрафиолетовое излучение Солнца вызывает фотохимические превращения углеводородов в атмосфере, при этом образуются новые токсичные вещества – фотооксиданты. Из альдегидов в отработавших газах присутствуют в основном формальдегид, акролеин и уксусный альдегид. Следует отметить, что наибольшее количество альдегидов образуется на режимах холостого хода и малых нагрузок. Кроме того, автомобили являются источником поступления в окружающую среду большого количества взвешенных твердых веществ (сажа, продукты износа двигателей, шин, нагар, аэрозоли, масла и др.), которые состоят из мелкодисперсных частиц (диаметром менее 10 мкм). Они состоят из разных материалов, включая неорганическую золу, кислые сульфаты или нитраты, дым, тонкодисперсную пыль, остатки свинца и асбеста [11]. Тяжелые металлы поступают в окружающую среду в ходе работы автомобиля (свинец, кадмий, никель и хром, железо), а также при истирании дорожных покрытий, в состав которых входит кадмий [12,13]. Загрязнение почв тяжелыми металлами вдоль автодорог носит долговременный характер, так как данные токсиканты способны к аккумуляции. Так, например, период полужизни свинца из почвы составляет 740-5900 лет, цинка – 70-510 лет, кадмия – 13-110 лет, меди – 310-1500 лет [14].

Таким образом, анализируя городскую среду можно сказать, что на растения воздействует комплекс негативных факторов, и определить значение каждого отдельно взятого стрессогена

весьма затруднительно. При наличии многофакторного загрязнения надежным показателем качества городской среды является состояние зеленых насаждений [15, 16].

В настоящее время проводятся исследования особенностей существования дендрофлоры в зависимости от экологических факторов среды на разных уровнях организации. Наряду с видимыми изменениями растений в городских условиях (облиственность, некрозы, густота и форма кроны) происходят изменения, не отражающиеся на уровне жизнеспособности [17].

При воздействии различных доз токсикантов на древесные растения можно выделить четыре типа повреждений, отличающихся по характеру и глубине расстройства метаболизма: острое, капельно-ожоговое, кумулятивное и скрытое. Острые повреждения вызываются воздействием высоких концентраций поллютантов и приводят, как правило к морфологическим изменениям. Капельно-ожоговые повреждения затрагивают листовую пластину, проявляются в виде некротических точек и более крупных пятен. Кумулятивное повреждение развивается при длительном действии низких концентраций токсикантов. Для этого типа повреждений характерно стойкое нарушение основных метаболических процессов, которые со временем приводят к избыточному накоплению токсикантов в ассимиляционных органах, появлению некрозов и ухудшению жизненного состояния. Вышеперечисленные типы повреждений определяются визуально или с помощью морфометрического анализа. Скрытые повреждения вызываются очень низкими концентрациями токсикантов, действующими постоянно или периодически. К таким повреждениям относятся нарушения физиолого-биохимических процессов (увеличение проницаемости мембран, изменение активности ряда ферментов, ингибирование фотосинтеза и т. д.). Накопление скрытых повреждений приводит к снижению роста и продуктивности растений, потере резистентности к климатическим факторам, патогенным микроорганизмам и насекомым. Латентные повреждения обратимы, они не ведут к стойкому расстройству метаболизма, и после прекращения действия загрязнителя нормальная жизнедеятельность растений восстанавливается [18].

В условиях слабого техногенного загрязнения характерного для г. Севастополь происходят кумулятивные и скрытые повреждения, которые проявляются как нарушение физиологических и биохимических процессов [19]. При нарушении таких процессов как фотосинтез и

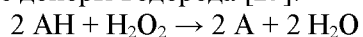
дыхание происходит образование активных форм кислорода (АФК) [20]. Накопление АФК приводит к окислительному «взрыву», который вызывает различные изменения в метаболизме, а также некротическим повреждениям вегетативных и генеративных органов и даже к гибели растений [21, 22]. Несмотря на все это, растения сохраняют жизнеспособность, что в значительной степени связано с функционированием в клетках антиоксидантной системы, основу которой составляют высокомолекулярные и низкомолекулярные антиоксиданты [22]. Таким образом, антиоксидантные системы можно отнести к общим механизмам устойчивости. Они предохраняют живую клетку от повреждающего действия АФК.

В настоящее время одним из направлений исследования физиолого-биохимических показателей является определение активности антиоксидантных ферментов (каталазы, пероксидазы, полифенолоксидазы, аскорбатоксидазы) [19, 24].

Полагают, что ферменты антиоксидантной системы играют более важную роль в регуляции интенсивности перекисного окисления липидов (ПОЛ) и ликвидации АФК у растений по сравнению с неферментными антиоксидантами, поскольку их работа может в высокой степени контролироваться клеткой [20].

Каталаза принимает участие в деградации H_2O_2 , защищая организм от окислительного стресса. Следует отметить, что при высокой скорости ферментативной реакции (одна молекула фермента способна вызвать распад 6×10^6 молекул H_2O_2 в секунду) каталаза имеет низкое сродство к субстрату (H_2O_2) и начинает работать только при достаточно высоком содержании пероксида водорода [8].

Важную роль в контроле уровня АФК и интенсивности ПОЛ играют пероксидазы, которые снижают уровень пероксида водорода, являющегося источником гидроксильного радикала $\cdot OH$, который в свою очередь считается основным инициатором ПОЛ. Пероксидазы восстанавливают пероксид водорода до воды, используя различные доноры водорода [25]:



Пероксидазы растений участвуют в защите растений от биотических и абиотических стрессовых факторов среды. Показано, что различные поллютанты такие как тяжелые металлы [26], гербициды [27], полициклические ароматические углеводороды [28], озон, диоксид серы [29] могут увеличивать активность пероксидаз.

Анализ литературных источников показал, что под влиянием эксгалатов даже при невиди-

мых повреждениях листьев происходит изменение активности ферментов. В.С. Николаевским показано, что нарушения ферментативных систем более значимы у неустойчивых видов (к ним относится липа), чем у устойчивых (клен и софора) видов.

Результаты исследований.

Фитомониторинг представляет собой постоянную комплексную диагностику состояния растений, а также это непосредственный и непрерывный контроль процессов их роста и развития, которые зависят от всех видов экологических факторов, обусловленных географическим и геополитическим расположением города [18].

Территория Севастополя является типичным примером урбанистической разновидности прибрежной зоны, подвергающейся аэротехногенному воздействию эксгалатов. Для города характерна значительная временная и пространственная изменчивость характеристик загрязнения воздуха, что связано с климатическими особенностями.

Различные климатические факторы (высокие температуры, штиль, низкая влажность) особенно в летний период оказывают эффект синергизма на степень воздействия эксгалатов на древесные насаждения.

Кроме того, в летние месяцы в Севастополе в несколько раз увеличивается поток рекреантов, что обуславливает увеличение антропогенной нагрузки на деревья.

Наиболее жаркими месяцами являются июль ($30^\circ C$), август ($29^\circ C$) и июнь ($26^\circ C$). В отдельные дни фиксировалась температура до $40^\circ C$ при полном отсутствии движения воздуха.

Наиболее солнечные месяцы июль (26 дней), сентябрь (26 дней) и август (25 дней).

Наибольшее количество осадков приходится на март, декабрь и май. Самый сухой месяц июль (рис.8).

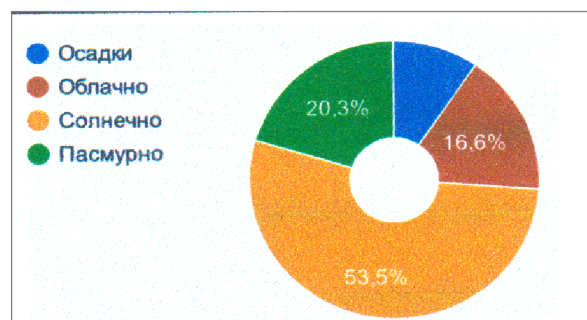


Рис. 8. Вероятность выпадения осадков в течение года.

Средняя годовая скорость ветра равна 4,6 м/с. Наиболее ветреные месяцы: февраль, март, апрель. Летом преобладает северо-восточный и северо-западный ветер (рис. 9).

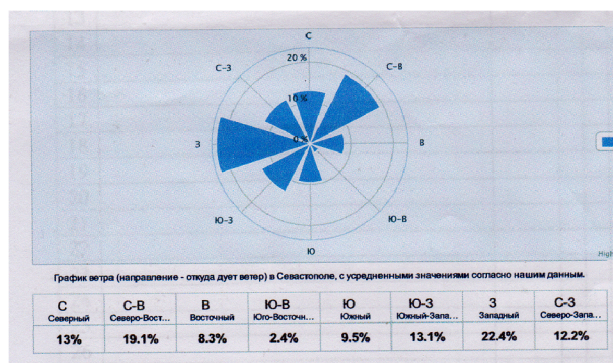


Рис. 9. Роза ветров Севастополя.

В связи с рельефом техногенно - освоенной местности и планировочными особенностями городской застройки наблюдается скопление эксгалатов в приземном слое воздуха, что приводит к возникновению инверсионного слоя теплого воздуха высотой около 200 м, который затрудняет горизонтальное перемещение приземного слоя воздуха и препятствует рассеиванию аэротоксикантов в атмосфере.

В соответствии с описанными выше экологическими факторами районами исследования были выбраны пять точек, в которых наблюдается влияние на исследуемые растения как передвижных, так и стационарных источников. Точки отбора проб выбирались строго с наветренной стороны, четко учитывая розу ветров.

Точка 1 (на территории Института ядерной энергии и промышленности) характеризуется загрязнением в большей степени от малой по мощности котельной, и выбросами от военных кораблей. Точка 2 (центр города, в районе площади Нахимова) характеризуется только влиянием довольно интенсивного автомобильного потока. Точка 3 (в районе улицы М.Кошки) характеризуется наличием следующих источников: ОАО «Севастопольский морской завод им. Орджоникидзе», ФГУП «13 СРЗ ЧФ», железная дорога и автомагистраль. Точка 4 характеризуется наибольшей антропогенной нагрузкой за счет самой мощной в г. Севастополе котельной, крупной автомагистрали и нескольких мелких производственных мастерских (в районе улицы Г. Сталинграда). Контрольной точкой 5 была выбрана территория с наименьшей антропогенной нагрузкой в районе парка Победы.

При отборе проб так же учитывалось и количество выпадающих осадков, снижающих возможную концентрацию эксгалатов в выбросах.

Во всех исследуемых точках были выбраны объекты (древесные насаждения) с разной степенью газоустойчивости к эксгалатам. Таковыми являются липа (*Tilia cordata* Mill, 1768), клен (*Acer Platanoides* Linnaeus, 1753) и софора (*Styphnolobium japonicum* Leguminosae Schott, 1830).

По фитомониторинговым исследованиям, которые проводились с 2012 по 2016 г.г., было обследовано жизненное состояние более 800 шт. деревьев и установлено, что наиболее устойчивым растением к городской среде является *S. japonicum*. В свою очередь *A. platanoides* можно отнести к среднегазочувствительным и особо пылеустойчивым, а *T. cordata* является растением наиболее чувствительным к антропогенному прессингу [18]. *A. platanoides* и *T. cordata* по литературным данным наиболее часто используется в практике фитомониторинга [30].

Следует отметить, что в данных исследованиях мы рассматриваем каждое древесное растение, взятое для анализа состояния окружающей среды, в качестве «объекта стационарного наблюдения», с помощью которого осуществляется кумулятивная оценка локального загрязнения атмосферного воздуха.

Для анализа ответной реакции, индуцируемой в исследуемых объектах токсичными эксгалатами использовались такие антиоксидантные ферменты как каталаза и пероксидаза.

Каталаза принимает участие в деградации H_2O_2 , защищая организм от окислительного стресса. Реакция протекает с очень высокой скоростью, в то же время каталаза имеет низкое сродство к субстрату (H_2O_2) и начинает работать только при достаточно высоком содержании пероксида водорода. К факторам, понижающим каталазную активность в тканях, относят недостаток витаминов группы В, фолиевой кислоты, рибофлавина, витамина А. Снижать активность каталазы могут различные вещества: цианиды, азиды, сульфиды (они способны блокировать железо в гематиновой группе), нитраты, фосфаты, сульфаты, многие кислоты. Снижение активности каталазы также наблюдается при избытке метионина, тирозина, цистина, меди, цинка [31].

Повышение активности пероксидазы растений выявлено в условиях загрязнения окружающей среды кислыми газами. При действии кислых газов в растениях на свету могут образовываться органические перекиси, которые,

по-видимому, обуславливают субстратную активацию пероксидазы. Кроме того, имеются многочисленные сведения об участии пероксидазы в процессах окисления органических ксенобиотиков (ПАУ, в том числе бенз(а)пирена), в частности в реакциях их гидроксирования.

Наши исследования показали, что у *S. Japonicum* отмечаются наиболее высокие показатели активности каталазы (рис. 10), во всех точках она имеет практически одинаковое значение, за исключением Т1, где наблюдается снижение активности (в 1,5-1,65 раза).

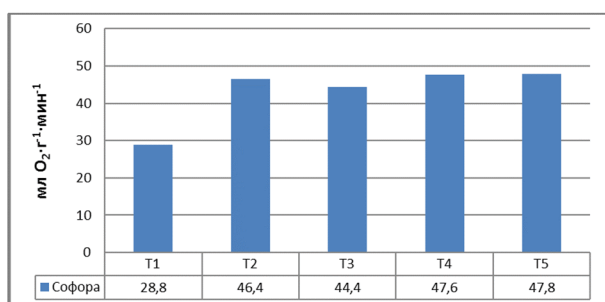


Рис. 10. Динамика изменения активности фермента каталаза у *S. Japonicum*.

В свою очередь на рис. 11 видно, что показатель активности пероксидазы имеет минимальное значение в Т5 (парковая зона, которая определена как условно чистая). В точках Т2 и Т3 показатели близки по своим значениям и только в Т4 наблюдается повышение активности почти в 3 раза. Повышение активности пероксидазы указывает на высокий детоксикационный потенциал данной древесной породы.



Рис. 11. Динамика изменения активности фермента пероксидаза у *S. Japonicum*.

Таким образом, наши исследования подтверждают, что софора японская относится к газостойчивым растениям. Ответная реакция на слабое загрязнение атмосферного воздуха регистрируется по активности пероксидазы и в меньшей степени по активности каталазы.

A. platanoides относится к среднечувствительным растениям по отношению к эксгалатам, а также обладает высокой пылеустойчивостью.

На рис. 12 видно, что у *A. platanoides* активность каталазы во всех точках снижена по сравнению с контролем в 1,7-2,5 раза. Самый низкий показатель зафиксирован на территории Института ядерной энергии и промышленности.

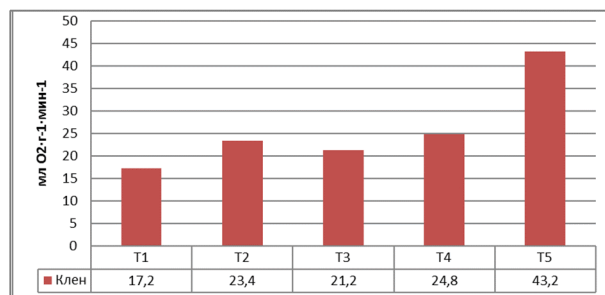


Рис. 12. Динамика изменения активности фермента каталаза у *A. platanoides*.

Анализ полученных в эксперименте данных показал, как видно на рис. 13, что активности пероксидазы в Т4 и Т5 близки к нулевым значениям. При сравнении с каталазной активностью можно предположить, что в парковой зоне (Т5) качественное и количественное содержание эксгалатов в составе атмосферного воздуха не вызывает ответа со стороны ферментативной антиоксидантной системы. В Т4 показатель активности каталазы в 1,7 раза ниже, чем показатель в контрольной точке.

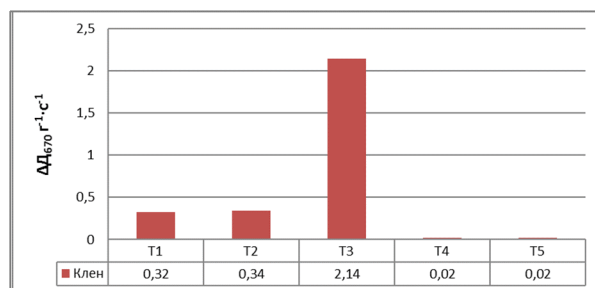


Рис. 13. Динамика изменения активности фермента пероксидаза у *A. platanoides*.

Поэтому можно предположить, что в состав эксгалатов входят компоненты, ингибирующие активный центр пероксидазы и тем самым снижающие ее активность. В Т3 повышение активности пероксидазы практически на два порядка, являются ответной реакцией на загрязнение атмосферного воздуха. Высокая активность фермента обеспечивает сопротивляемость организ-

ма и способствует обезвреживанию вредных соединений.

В свою очередь липа относится к газочувствительным древесным растениям.

Ответная реакция липы сердцевидной на уровень атмосферного загрязнения показана на рис. 14.

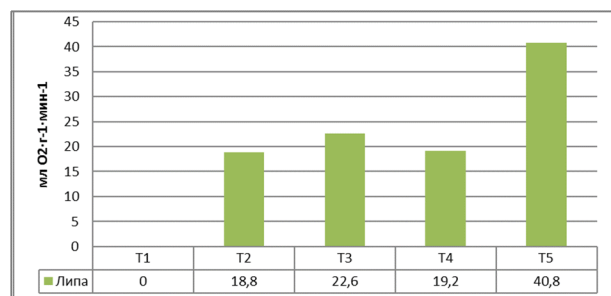


Рис. 14. Динамика изменения активности фермента каталаза *T. Cordata*.

Активность каталазы во всех исследуемых точках снижена по сравнению с контролем примерно в 2 раза, но такого разброса показателей как при анализе активности пероксидазы не дает (рис. 15).

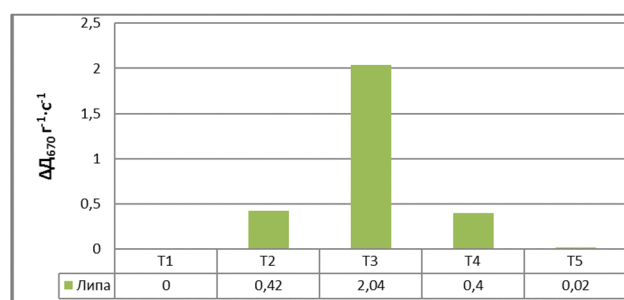


Рис. 15. Динамика изменения активности фермента пероксидаза *T. Cordata*.

Активация пероксидазы у *T. cordata* может характеризовать наличие в воздухе загрязнителей в достаточно широком диапазоне концентраций и позволяет по степени активации фермента выделить зоны с различным уровнем загрязнения. В Т3 активность пероксидазы на порядок выше, чем в Т4 и на два порядка выше, чем в контрольной точке. Низкие значения активности фермента у *T. cordata* и *A. platanoides* в районе парка Победы показывают отсутствие или незначительные концентрации экскалатов, вызывающих ответную реакцию. Высокая активность фермента в районе улицы М. Кошки говорит о возможном субстратном окислении органических ксенобиотиков.

Изменения у *T. Cordata* активности ферментов антиоксидантной системы в условиях относительно низкого содержания экскалатов позволяет использовать ее при биотестировании.

Анализируя рис. 16 можно сделать вывод, что активность каталазы зависит как от интенсивности антропогенной нагрузки, так и от активности антиоксидантной системы, и в целом говорит об устойчивости растений к стрессорам.

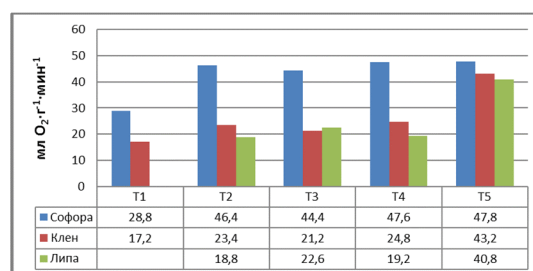


Рис. 16. Динамика изменения активности каталазы в точках исследования.

Информативность ответной реакции софоры японской на качественный и количественный состав экскалатов можно признать низкой. В свою очередь наши данные показывают, что активность фермента у липы сердцевидной и клена остролистного в контроле примерно в 2 раза выше, что говорит о возможности их использования при биотестировании. Показатели активности каталазы у софоры японской в точках с повышенной антропогенной нагрузкой значительно превышают аналогичный показатель у *T. cordata* и *A. platanoides* во всех исследуемых точках, за исключением контроля.

В свою очередь на рис. 17 видно, что показатели активности пероксидазы в зависимости от качественного и количественного состава экскалатов у *S. Japonicum* на порядок выше, чем *T. cordata* и *A. platanoides* во всех исследуемых точках, за исключением Т3, расположенной в районе улицы М. Кошки, где активность пероксидазы *S. Japonicum* в 1,5 раза ниже.

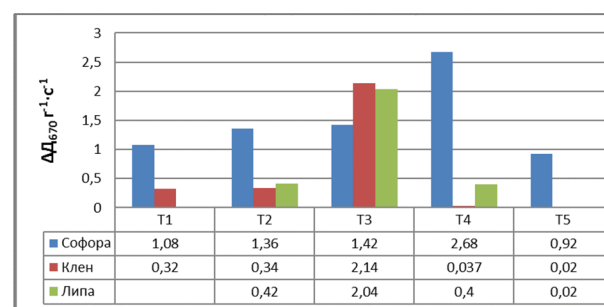


Рис. 17. Динамика изменения активности пероксидазы в точках исследования.

Можно предположить, что кислые газы подавляют активность каталазы этот эффект кратковременен (от 1 – 3 часов до 1 – 2 суток). Известно, что пероксидаза не может заменять каталазу, но возможно активация пероксидазы связана с ингибированием каталазы.

Анализируя полученные данные можно сделать вывод, что у различных видов древесных растений имеются специфические особенности работы антиоксидантных систем. По активности каталазы и пероксидазы можно оценить устойчивость древесных пород к неблагоприятным городским условиям и степень подавления у них экологических и санитарно-гигиенических функций. Наши данные показали, что наименее устойчивыми являются липа сердцевидная и клен остролистный, а наиболее устойчивым из исследованных видов – софора японская.

Заключение

1. Использование физических, физико-химических, химических методов 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. Напротив, природные компоненты урбосреды, и, в первую очередь, растения как объекты фитомониторинга, 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 [18].
2. У различных видов древесных растений имеются специфические особенности работы антиоксидантных систем. По активности каталазы и пероксидазы можно оценить

устойчивость древесных пород к неблагоприятным городским условиям и степень подавления у них экологических и санитарно-гигиенических функций.

3. Показатели активности каталазы и пероксидазы напрямую зависят от качественного и количественного состава экссудатов.
4. Ответная реакция на слабое загрязнение атмосферного воздуха регистрируется по активности пероксидазы и в меньшей степени по активности каталазы.
5. Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности использования показателей антиоксидантной системы в качестве параметров фитомониторинга.

Список литературы

1. Николаевский В.С. Фитомониторинг, его значение и роль в системе био- и экологического мониторинга /В.С. Николаевский // Методология экологического нормирования, 1990. – С. 97-98.
2. Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации – М.: МГУЛ, 1999. – 193 с.
3. Неверова О.А. Биоэкологическая оценка загрязнения атмосферного воздуха по состоянию древесных растений – Новосибирск: Наука, 2001. – 119 с.
4. Неверова О.А., Колмогорова Е.Ю. Древесные растения и урбанизированная среда: экологические и биотехнологические аспекты – Новосибирск: Наука, 2003. – 222 с.
5. Мелехова О.П. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование – М.: Издательский центр «Академия», 2007 – 288 с.
6. Чернышенко О.В. Поглощительная способность и газоустойчивость древесных растений в условиях города – М.: МГУЛ, 2002. – 120 с.
7. Николаевский В.С. Биологические основы газоустойчивости растений – Новосибирск: Наука, 1979. – 278 с.
8. Рогожин В.В. Пероксидаза как компонент антиоксидантной системы живых организмов – СПб: ГИОРД, 2004. – 240 с.
9. Морозова Г.Ю. Растения в урбанизированной природной среде: формирование флоры, ценогенез и структура популяций / Г.Ю. Морозова, Ю.А. Злобин, Т.И. Мельник // Журнал общей биологии, 2003. – Т. 64. – Вып. 2. – С. 166-180.
10. Березуцкий М.А. Флора городов: структура и тенденции антропогенной динамики / М.А. Березуцкий, А.В. Панин // Ботанический журнал, 2007. – Вып.10. – Т.92. – С.1481-1486.

11. Денисов В.Н., Роголев В.А. Проблемы экологизации автомобильного транспорта – СПб.: МАНЕБ, 2005. – 312 с.
12. Миронов А.А., Евгеньев И.Е. Автомобильные дороги и охрана окружающей среды – Томск: Томский университет, 1986. – 243с.
13. Дабахов М.В., Дабахова Е.В., Титова В.И. Эко-токсикология и проблемы нормирования - Н. Новгород: ВВАГС, 2005. – 165 с.
14. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях – М.: Мир, 1989. – 439 с.
15. Фролов А.К. Растения городов как объект экологических исследований / А.К. Фролов // Вестник Санкт-Петербургского университета, 1993. – Сер. 3. – Вып. 1. – С. 62-72.
16. Фролов А.К. Окружающая среда крупного города и жизнь растений в нем – СПб.: Наука, 1998. – 328 с.
17. Мозолевская Е.Г. Первичные и интегральные показатели состояния насаждений, используемые при мониторинге / Е.Г. Мозолевская // Лесной вестник, 2000. – Вып. 6 (15) – С. 65-67.
18. Косовская М.А. Организация фитомониторинга г.Севастополя / М.А. Косовская, Т.К. Хренова, В.Н. Григорьева // Сборник научных трудов СНУЭиП, 2014. – Т. 4 – Вып. 48.
19. Половникова М.Г. Активность компонентов антиоксидантной защиты и полифенолоксидазы у газонных растений в онтогенезе в условиях городской среды / М.Г. Половникова, О.Л. Воскресенская // Физиология растений, 2008. – Т. 55. – Вып.5. – С. 777-786.
20. Полесская О.Г. Растительная клетка и активные формы кислорода – М.: КДУ, 2007 – 137 с.
21. Кузнецов В.В., Дмитриева Г.А. Физиология растений. Т. 2. – М.: Юрайт, 2016. – 459 с.
22. Apel K., Hirt H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction // Annu. Rev. Plant Biol. 2004. V. 55. P. 373–399.
23. Прадедова Е.В. Классификация системы антиоксидантной защиты как основа рациональной организации экспериментального исследования окислительного стресса у растений / Е.В. Прадедова, О.Д. Ишеева, Р.К. Салеев // Физиология растений, 2011. – Т. 58. – С. 177-185.
24. Неверова О.А. Активность пероксидазы как показатель детоксикационного потенциала древесных растений в зоне выброса автотранспорта / О.А. Неверова, Е.Ю. Колмогорова, А.А. Быков // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2009. – Т. 11. Вып.1 (3). – С. 384-388.
25. Naji K.M., Devaraj V.R. Partial purification and characterization of newly expressed guaiacol peroxidase from dehydrated seedlings of horse gram // Fac. Sci. Bull. 2009. V.22. P.39-48.
26. Mishra S., Jha A.B., Dubey R.S. 2011. Arsenite treatment induces oxidative stress, upregulates antioxidant system, and causes phytochelatin synthesis in rice seedlings // Protoplasma. 2011. V.248. N3. P.565-577.
27. Ivanov S., Shopova E., Kerchev P., Sergiev I., Miteva L., Polizoev D., Alexieva V. Long-term impact of sublethal atrazine perturbs the redox homeostasis in pea (*Pisum sativum* L.) plants. Protoplasma. 2013. V.250. P. 95-102.
28. Song H., Wang Y.-S., Sun C.-C., Wang Y.-T., Peng Y.-L., Cheng H. Effects of pyrene on antioxidant systems and lipid peroxidation level in mangrove plants, *Bruguiera gymnorhiza* // Ecotoxicology. 2012. V.21. P.1625-1632.
29. Рачковская М.М. Изменение активности некоторых оксидаз как показатель адаптации растений к условиям промышленного загрязнения/ М.М. Рачковская, Л.О. Ким// Газоустойчивость растений, 1980. – С. 117-126.
30. Бухарина И.Л., Поварницына Т.М., Ведерников К.Е. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде – Ижевск: Ижевская ГСХА, 2007. – 216 с.
31. Чиркова Т.В. Физиологические основы устойчивости растений: Учебное пособие студентов биологических факультетов вузов – СПб.: СПбГУ, 2002. – 244 с.

References

1. Nikolaevskiy V.S. The phytomonitoring, its meaning and role in the bio - and environmental monitoring. *Metodologiya ekologicheskogo normirovaniya*, 1990, pp. 97-98.
2. Nikolaevskiy V.S. *Ekologicheskaya otsenka zagryazneniya sredy i sostoyaniya nazemnykh ekosistem metodami fitoindikatsii* [Environmental assessment of pollution of the environment and the state of terrestrial ecosystems by methods of phytoindication]. – Moscow: MGUL, 1999. – 193 p.
3. Neverova O.A. *Bioekologicheskaya otsenka zagryazneniya atmosfernogo vozdukha po sostoyaniyu drevesnykh rasteniy* [Bioecological assessment of air pollution on the condition of woody plants]. – Novosibirsk: Science, 2001. – 119 p
4. Neverova O.A., Kolmogorova E.Yu. *Drevesnye rasteniya i urbanizirovannaya sreda: ekologicheskie i biotekhnologicheskie aspekty* [Woody plants and urban environment: ecological and biotechnological aspects]. – Novosibirsk: Science, 2003. – 222 p.
5. Melekhova O.P., Egorova E.I. *Biologicheskii kontrol' okruzhayushchey sredy: bioindikatsiya i biotestirovanie* [Biological control of environment: bioindication and biotesting]. – Moscow: Publishing center "Academy", 2007 – 288 p.
6. Chernyshenko O.V. *Poglotitel'naya sposobnost' i gazoustoychivost' drevesnykh rasteniy v usloviyakh goroda* [The absorption capacity and gotostatement

- woody plants in the city]. – Moscow: Publisher MGUL, 2002. – 120 p.
7. Nikolaevskiy V.S. *Biologicheskie osnovy gazoustoychivosti rasteniy* [The biological basis of gotostatement plants]. – Novosibirsk: Science, 1979. – 278 p.
 8. Rogozhin V.V. *Peroksidaza kak komponent antioksidantnoy sistemy zhivyykh organizmov* [Peroxidase as a component of the antioxidant system of living organisms]. – St. Petersburg: GIOR, 2004. – 240 p.
 9. Morozova G.Yu., Zlobin Yu.A., Mel'nik T.I. Plants in the urban natural environment: formation of flora, cinogens and structure of populations. *Zhurnal obshchey biologii*, 2003, V. 64, No 2, pp. 166-180.
 10. Berezutskiy M.A., Panin A.V. Flora cities: structure and tendencies of anthropogenic dynamics. *Botanicheskiy zhurnal*, 2007, No 10, V.92, pp.1481-1486.
 11. Denisov V.N., Rogalev V.A. *Problemy ekologizatsii avtomobil'nogo transporta* [Problems ekologizatsii motor transport]. – St. Petersburg: MANEB, 2005. – 312 p.
 12. Mironov A.A., Evgen'yev I.E. *Avtomobil'nye dorogi i okhrana okruzhayushchey sredy* [Roads and environmental protection]. – Tomsk.: Tomskiy universitet, 1986. – 243p.
 13. Dabakhov M.V., Dabakhova E.V., Titova V.I. *Ekotoksikologiya i problemy normirovaniya* [Ecotoxicology and problems of rationing]. – N. Novgorod: Publisher VVAGS, 2005. – 165 p.
 14. Kabata-Pendias A., Pendias Kh. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh* [Trace elements in soils and plants]. – Moscow: World, 1989. – 439 p.
 15. Frolov A.K. Plants of cities as an object of environmental studies. *Vestn. Sankt-Peterburg. universiteta*. St. Petersburg, 1993, V.3, No 1, pp. 62-72.
 16. Frolov A.K. *Okruzhayushchaya sreda krupnogo goroda i zhizn' rasteniy v nem* [The environment of a large city and plant life in it]. – St. Petersburg: Science, 1998. – 328 p.
 17. Mozolevskaya E.G The primary and integral indicators of the state spaces used in monitoring. *Lesnoy vestnik*, 2000, No 6 (15), pp. 65-67.
 18. Kosovskaya M.A. Organizatsiya fitomonitoringa g.Sevastopolya / M.A. Kosovskaya, T.K. Hrenova, V.N. Grigor'eva// *Sbornik nauchnykh trudov SNUYAEHiP*, 2014, T. 4, No 48.
 19. Polovnikova M.G., Voskresenskaya O.L. The activity of antioxidant protection components and polyphenol oxidase from lawn plants in ontogenesis in the urban environment. *Fiziologiya rasteniy*, 2008, V. 55, No 5, pp. 777-786.
 20. Poleskaya O.G. *Rastitel'naya kletka i aktivnye formy kisloroda* [Plant cell and reactive oxygen species]. – Moscow: KDU, 2007 – 137 p.
 21. Kuznetsov V.V., Dmitrieva G.A. *Fiziologiya rasteniy* [Plant physiology]. V. 2. – Moscow: Urait, 2016. – 459 p.
 22. Apel K., Hirt H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction // *Annu. Rev. Plant Biol.* 2004. V. 55. P. 373-399.
 23. Pradedova E.V., Isheeva O.D., Salyaev R.K. Classification of antioxidant defense system as the basis of rational organization of the experimental study of oxidative stress in plants. *Fiziologiya rasteniy*, 2011, V. 58, pp. 177-185.
 24. Neverova O.A., Kolmogorova E.Yu., Bykov A.A. Activity of peroxidase as an indicator of detoxification potential of woody vegetation in the area where the vehicles. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2009, V. 11. No 1 (3), pp. 384-388.
 25. Naji K.M., Devaraj V.R. Partial purification and characterization of newly expressed guaiacol peroxidase from dehydrated seedlings of horse gram // *Fac. Sci. Bull.* 2009. V.22. P.39-48.
 26. Mishra S., Jha A.B., Dubey R.S. 2011. Arsenite treatment induces oxidative stress, upregulates antioxidant system, and causes phytochelatin synthesis in rice seedlings // *Protoplasma*. 2011. V.248. N3. P.565-577.
 27. Ivanov S., Shopova E., Kerchev P., Sergiev I., Miteva L., Polizoev D., Alexieva V. Long-term impact of sublethal atrazine perturbs the redox homeostasis in pea (*Pisum sativum* L.) plants. *Protoplasma*. 2013. V.250. P. 95-102.
 28. Song H., Wang Y.-S., Sun C.-C., Wang Y.-T., Peng Y.-L., Cheng H. Effects of pyrene on antioxidant systems and lipid peroxidation level in mangrove plants, *Bruguiera gymnorhiza* // *Ecotoxicology*. 2012. V.21. P.1625-1632.
 29. Rachkovskaya M.M., Kim L.O. The change in the activity of some oxidases as an indicator of plant adaptation to the conditions of industrial pollution. *Gazoustoychivost' rasteniy*, 1980, pp. 117-126.
 30. Buharina I.L., Povarnicyna T.M., Vedernikov K.E. *Ekologo-biologicheskie osobennosti drevesnykh rasteniy v urbanizirovannoy srede* [Ecological and biological characteristics of woody plants in the urban environment]. – Izhevsk: Izhevskaya GSKHA, 2007, 216 p.
 31. Chirkova T.V. *Fiziologicheskie osnovy ustoychivosti rasteniy: Uchebnoe posobie studentov biologicheskikh fakul'tetov vuzov* [Physiological bases of plant resistance: a textbook for students of biological faculties of universities]. – St. Petersburg SPbGU, 2002. – 244 p.

УДК 621.039.5.(07)

Радиационная обстановка на массиве реактора «ИР-100» при обезвоживании активной зоны

П.А. Пономаренко¹, М.А. Фролова², И. И. Голышева³*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, ³golisheva_innesa@mail.ru*

Статья поступила 07.02.2017 г.; после доработки 09.02.2017 г.

Аннотация

Аварии на реакторных установках согласно НП 306.2141-2008 делятся на проектные и запроектные. Все они, как правило, связаны с большой течью и потерей теплоносителя из активной зоны, а, следовательно, тепловым разрушением оболочек ТВЭЛ и в конечном итоге увеличением осколочной активности ядерного топлива, попадающего в окружающую среду и мощности дозы запаздывающего гамма-излучения.

Ключевые слова: авария, ТВЭЛ, радиационная безопасность, активная зона.

The radiation situation at the reactor array «IR-100» in the de-watering of at active zone

P.A. Ponomarenko¹, M.A. Frolova², I. I. Golisheva³,*Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, ³golisheva_innesa@mail.ru*

Received 07.02.2017 y.; received in final form 09.02.2017 y.

Abstract

The accident at the reactors according to NP 306.2141-2008 are divided into design and beyond. All of them, usually associated with a large leak and loss of coolant from the active zone and, consequently, thermal destruction of shells of the fuel elements and eventually increasing fragmentation activity of nuclear fuel released into the environment and dose of delayed gamma radiation.

Keywords: accident, fuel elements, radiation safety, active zone

Введение

Исследовательский реактор – ядерный реактор, активная зона которого является источником нейтронного и гамма-излучений, используемых для проведения исследований в различных областях науки и техники.

Большинство исследовательских реакторов – реакторы на тепловых нейтронах, в основном гетерогенного типа. Мощность нейтронного излучения ~ 10¹² – 10¹⁵ нейтронов/(см²с).

Исследовательские ядерные реакторы играют важную роль в развитии ядерной энергетики и вопросах обеспечения безопасности ядерных

установок. Без проведения широкой программы фундаментальных и прикладных исследований на исследовательских реакторах невозможно обоснование безопасности объектов ядерной энергетики. Исследовательские реакторы широко используются в экспериментах, при получении изотопов, проведении нейтронно-активационного анализа материалов, создании перспективных типов реакторов и т. д.

Как и все объекты использования атомной энергии, исследовательские реакторы являются источниками ядерной и радиационной опасности. Несмотря на более низкую мощность и, соответственно, меньшее количество радиоактивных веществ, образующихся при эксплуатации,

их потенциальная опасность для населения и окружающей среды все же велика в силу ряда специфических особенностей:

- высокая частота переходных режимов при работе (пуски, остановки, изменения мощности в широком диапазоне, динамические эксперименты), при которых чаще всего и происходят нарушения в работе;
- частые перегрузки активных зон и постоянное перемещение облученных изделий (на исследования, в бассейны выдержки, на длительное хранение, на утилизацию и т.д.);
- высокая цикличность нагрузок на основное оборудование активных зон и первого контура, вследствие большого количества малых по продолжительности кампаний;
- высокая плотность нейтронного потока в активных зонах исследовательских реакторов, приводящая к быстрому набору предельного флюенса на элементы активных зон и повышению вероятности их отказов;
- меньшее, чем у энергетических реакторов количество физических барьеров, препятствующих распространению продуктов деления, особенно у бассейновых исследовательских реакторов и критических сборок.

Описание исследования

В данном исследовании анализируется за-проектная авария на исследовательском реакторе «ИР-100», связанная с обезвоживанием активной зоны при условии, что согласно регламенту реактор полгода (180 суток) каждый рабочий день (5 дней в неделю) работал на мощности 200 кВт в течении 6 часов.

Перед плановой остановкой в пятницу (за $2 \div 5$ минут до плановой остановки) реактор был автоматически аварийно остановлен по сигналу снижения уровня воды в баке реактора.

Допускаем, что при наличии незначительного удельного остаточного тепловыделения имеет место относительно низкая скорость повышения температуры ТВЭЛ и при температурах ТВЭЛ ниже 500°C достигается равновесие остаточного тепловыделения с излучением от ТВЭЛ в окружающую среду.

Следовательно, температура ТВЭЛ не превышает 500°C и ТВЭЛ не претерпевает теплового разрушения.

Начальные условия состояния реакторной установки перед аварией:

- начальный уровень воды в баке реактора $h_0 = 415$ см, т.е. над активной зоной, от уровня воды до крышки реактора 400 мм;

- мощность реактора 200 кВт;
- до аварии в этот день реактор проработал 6 часов;
- температура оболочек тепловыделяющих элементов 90°C ;
- температура теплоносителя на выходе из активной зоны реактора (над активной зоной) 50°C ;
- коэффициент объемной неравномерности тепловыделения $K_V = 1,53$;
- количество тепловыделяющих элементов в активной зоне 329 шт;
- диаметр бака 180 см;
- диаметр внутренней обечайки 170 см;
- верхняя кромка активной зоны от дна бака отстоит на 120 см;
- высота активной зоны 50 см;
- диаметр ТВЭЛа 1 см;
- оболочка ТВЭЛа из алюминиевого сплава АД-1 толщиной 1 мм;
- температура плавления оболочки 677°C [1];
- диаметр металлокерамического сердечника ядерного топлива из UO_2 7 мм;
- температура плавления UO_2 составляет 2650°C [1].

При снижении уровня воды в баке реактора до $h = 365$ см сработала аварийная защита реактора. В активную зону были введены три стержня аварийной защиты, два компенсирующих стержня и один стержень автоматического регулирования.

Суммарная введенная отрицательная реактивность составила $-4,2\beta$, время ввода 0,5 с, за следующие 0,5 с мощность реактора снизилась до 38 кВт. Дальнейшее снижение мощности осуществлялось с периодом 16 с [2]. Это снижение обусловлено снижающейся плотностью потока тепловых нейтронов за счет замедления запаздывающих.

При отсутствии воды в активной зоне мощность реактора равна только остаточному тепловыделению, т.к. без замедлителя в активной зоне тепловые нейтроны не генерируются и деление на них ядерного топлива отсутствует.

При наличии воды в активной зоне мощность реактора состоит из нейтронной мощности и мощности остаточного тепловыделения [2].

Как только снижающаяся мощность реактора достигнет мощности остаточного тепловыделения на данный момент времени после остановки реактора, нейтронная мощность на этот же момент времени равна 0.

Обезвоживание активной зоны может произойти при любой большой течи из бака реактора ниже активной зоны.

При нормальной неаварийной работе реактора защитой от проникающей радиации для персонала, работающего на крышке реактора, является слой воды над активной зоной и чугунная крышка реактора толщиной 500 мм.

Через 100 с после остановки реактора проникающая радиация будет представлена только запаздывающими гамма-квантами, энергетический спектр которых непрерывен в диапазоне от 0 до 3 МэВ [3].

Мощность этих источников во времени переменна и определяется режимами работы и стоянки реактора.

Ранее было указано, что ввиду исключительно сложного режима работы и стоянки реактора в предаварийный период в течение 180 суток мощность реактора была заменена единой эффективной мощностью в 172,6 кВт, на которой реактор проработал перед аварией все 180 суток непрерывно.

После осушения активной зоны защитой от запаздывающего гамма-излучения служит только чугунная плита.

Мощность запаздывающих гамма-квантов оценивалась по восьми групповой энергетической модели из-за того, что биологическая эффективность гамма-лучей, различной энергии, различна [4].

Энергетические группы гамма-квантов были следующими:

- 0,1 - 0,3 МэВ;
- 0,3 - 0,6 МэВ;
- 0,6 - 0,9 МэВ;
- 0,9 - 1,2 МэВ;
- 1,2 - 1,5 МэВ;
- 1,5 - 2 МэВ;
- 2 - 2,5 МэВ;
- 2,5 - 3 МэВ.

Оценка мощности дозы, создаваемой запаздывающими гамма-квантами на крышке реактора производилась при допущении точечной геометрии источника запаздывающих гамма-квантов, который размещается в геометрическом центре активной зоны [5, 6].

Самопоглощением запаздывающего излучения в активной зоне пренебрегаем, тем самым ухудшая радиационную обстановку на крышке реактора.

Оценка прохождения запаздывающих гамма-квантов через чугунную плиту и мощности эквивалентной дозы на плите производилась по методикам с использованием расчетных и экспериментальных данных [7, 8, 9, 10].

При этом была учтена зависимость коэффициента линейного ослабления от энергии гамма-квантов, также учтена зависимость дозового фактора накопления от энергии гамма-квантов и произведения линейного коэффициента ослабления на толщину чугунной плиты.

Аналитически оцененные мощности эквивалентных доз, во времени, спустя 100 с после срабатывания аварийной защиты и до 30 суток, плотностей потока падающих гамма-квантов на крышку реактора и мощности источника запаздывающих гамма-квантов, приведены на рисунках 1, 2 и 3 соответственно.

Ориентируясь на мощность эквивалентной дозы на крышке реактора, выбирается момент допуска персонала на место проведения работ и время самой работы персонала на плите.

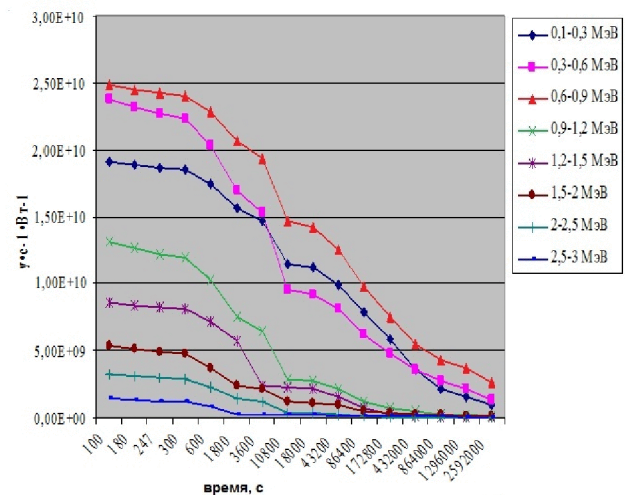


Рис. 1. Мощность источника запаздывающего гамма-излучения, $\gamma\text{c}^{-1}\cdot\text{Вт}^{-1}$

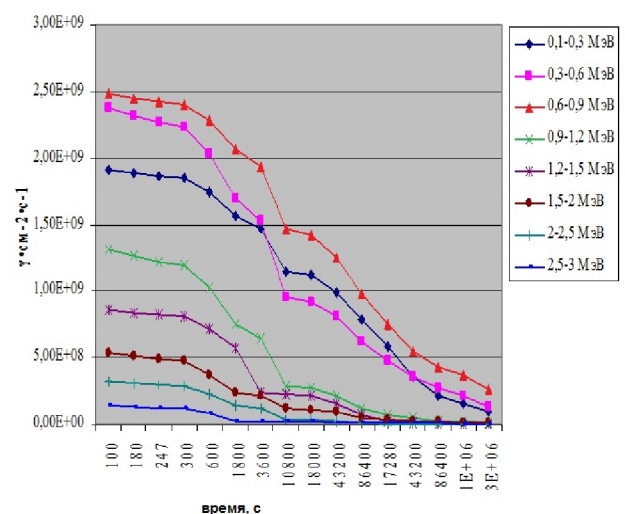


Рис. 2. Плотность потока гамма-квантов под крышкой бака, $\gamma\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$

Персонал допускается до работы, с целью подачи воды, через штатные отверстия в крышке, из подпиточного бака или пожарной системы, или водопровода, для охлаждения обезвреженной активной зоны, для снижения риска теплового разрушения оболочек ТВЭЛ и перевода аварийной ситуации в надежное охлаждение активной зоны и сохранение целыми оболочек тепловыделяющих элементов.

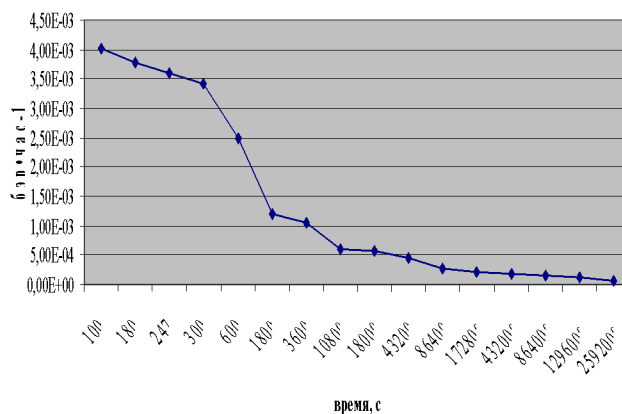


Рис. 3. Результирующая мощность эквивалентной дозы, бэр/час⁻¹

Оценка момента допуска персонала на крышку реактора, выбор средств индивидуальной защиты, а также время работы персонала на крышке оцениваются в соответствии с рекомендациями, изложенными в [11].

Таким образом, мощность эквивалентной дозы по всему спектру запаздывающего гамма излучения на крышке реактора спустя 100 секунд после срабатывания аварийной защиты и обезвреживания бака реактора составит $4,022456 \cdot 10^{-3}$ бэр/час, при допустимой для категории А – 0,001176 бэр/час.

Допустимой же мощность дозы запаздывающего гамма излучения на крышке реактора после обезвреживания бака реактора будет через 30 минут после срабатывания аварийной защиты.

Заключение

- 1) была проанализирована запроектная авария на исследовательском реакторе «ИР-100», связанная с обезвреживанием активной зоны;
- 2) была оценена мощность запаздывающих гамма-квантов;
- 3) была оценена мощность дозы, создаваемая запаздывающими гамма-квантами на крышке реактора;
- 4) был выбран момент допуска персонала на место проведения работ.

Список литературы

1. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники / Чиркин В.С. – М.: Атомиздат. 1968г.
2. Саркисов А.А. Судовые реакторы и парогенераторы, часть 1, Физика ядерных реакторов / А.А.Саркисов, В.Н.Пучков – Москва. Военное издательство. 1985г.
3. Кухлинг Х. Справочник по физике / Кухлинг Хорст – М.: Мир. 1983г.
4. Нормы радиационной безопасности НРБ-76/87 и основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ОСП – 72/87. Издание третье, переработанное и дополненное. М. Атомиздат. 1988г.
5. Крамер – Агеев Е.А. Активационные методы спектрометрии нейтронов / Е.А. Крамер – Агеев, В.С. Трошин, Е.Т. Тихонов – М., Атомиздат., 1976г. – 232 с.
6. Ломакин С.С. Радиометрия нейтронов активационным методом / С.С. Ломакин, В.И. Петров, П.С. Самойлов. – М., Атомиздат., 1975г. – 208 с.
7. Барабанов С. А. Основы радиационной безопасности / С. А. Барабанов, П. И. Залевский, П. А. Пономаренко. — Военно-морской флот. 1973г.
8. Бродер Д.Л. Биологическая защита транспортных реакторных установок / Д.Л.Бродер, С.А.Козловский, В.С.Кызыров, К.К.Попков, С.М.Рубанов – М. Атомиздат. 1969г.
9. Кимель Л.Р. Защита от ионизирующих излучений. Справочник / Л.Р.Кимель, В.П.Машкович. Издание второе переработанное и дополненное – М. Атомиздат. 1972г.
10. Машкович В.П. Защита от ионизирующих излучений. Справочник / В.П.Машкович, А.В. Кудрявцева. Издание четвертое переработанное и дополненное – М. Атомиздат. 1995г.
11. Нормы радиационной безопасности НРБ- 99 и основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ОСП – 72/87 – Москва.: Энергоатомиздат. 1988 г.

References

1. Chirkin V.S. Teplofizicheskie svoystva materialov yadernoy tekhniki [Thermal properties of materials of nuclear engineering] – M.: Atomizdat. 1968 g.
2. Sarkisov A. A., Puchkov V. N Sudovyye reaktory i parogeneratoryi, chast 1, Fizika yadernykh reaktorov [Ship reactors and steam generators, Part 1, The physics of nuclear reactors] – Moscow.: Military publishing House. 1985 g.
3. Kuhling H. Spravochnik po fizike [Handbook of physics] – M.: Peace. 1983 g.
4. Normy radiatsionnoy bezopasnosti NRB – 76/87 i osnovnyie sanitarnyye pravila raboty s radioak-

- tivnymi veshchestvami i drugimi istochnikami ioniziruyuschih izlucheniye OSP – 72/87. Izdanie trete, pererabotannoe i dopolnennoe [Radiation Safety Standards NRB-76/87 and basic sanitary rules for working with radioactive substances and other sources of ionizing radiation OSP – 72/87. Third edition, revised and enlarged] – M.: Atomizdat. 1988 g.
5. Kramer E. A.– Ageev E. A., Troshin V. S., Tikhonov E. T. Aktivatsionnyye metodyi spektrometrii neytronov [Activation methods of neutron spectrometry] – M.: Atomizdat., 1976 g. – 232 s.
 6. Lomakin S. S., Petrov V. I., Samoilov P. S. Radiometriya neytronov aktivatsionnyim metodom [Radiometry neutron activation method] – M.: Atomizdat., 1975 g. – 208 s.
 7. Barabanov S. A., Zalewski P. I., Ponomarenko P. A. Osnovyi radiatsionnoy bezopasnosti [Radiation Safety Basics] – Military – nautical fleet. 1973 g.
 8. Broder D. L., Kozlovsky S. A., Kyzuyurov V. S., Popkov K. K., Rubanov S. M. Biologicheskaya zaschita transportnyih reaktornyih ustanovok [Biological protection transport reactor plants] – M.: Atomizdat. 1969 g.
 9. Kimel L. R., Mashkovich V. P. Zaschita ot ioniziruyuschih izlucheniye. Spravochnik [Protection against ionizing radiation. Directory. Second edition revised and enlarged] – M.: Atomizdat. 1972 g.
 10. Mashkovich V. P., Kudryavtseva A. V. Zaschita ot ioniziruyuschih izlucheniye. Spravochnik [Protection against ionizing radiation. Directory. Fourth Edition revised and enlarged] – M.: Atomizdat. 1995 g.
 11. Normyi radiatsionnoy bezopasnosti NRB- 99 i osnovnyie sanitarnye pravila raboty s radioaktivnymi veshchestvami i drugimi istochnikami ioniziruyuschih izlucheniye OSP- 72/87 [Radiation Safety Standards NRB – 99 and the basic sanitary rules for working with radioactive substances and other sources of ionizing radiation OSP – 72/87] – Moscow.: Energoatomisdat. 1988 g.

УДК 504.4.064.3:574

Динамика мезозоопланктона в Севастопольской бухте за последние 30 лет

Т.Л. Щекатурина¹, А.Ю. Рукина²

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Курчатова 7, г. Севастополь, 299015, Россия, ¹shek232@mail.ru, ²rukina_anastasiya@mail.ru

Статья поступила 01.03.2017 г.; после доработки 03.03.2017 г.

Аннотация

В статье дан литературный обзор по изучению состава и численности зоопланктона в Севастопольской бухте за последние 30 лет. Проанализированы факторы, вызывающие изменения планктонного сообщества, что позволит оценивать продуктивность вод Севастопольской бухты в различные периоды, а так же проводить мониторинг морской среды.

Ключевые слова: зоопланктон, мезозоопланктон, севастопольская бухта, динамика численности.

Dynamics mesozooplankton in Sevastopol Bay for last 30 years

T.L. Schekaturina¹, A.J. Rukina²

FGAOU IN «Sevastopol National Technical University» st. Kurchatov 7, Sevastopol, 299 015, Russia, ¹shek232@mail.ru, ²rukina_anastasiya@mail.ru

Received 01.03.2017 y.; received in final form 03.03.2017 y.

Abstract

The article presents a literature review on the study of the composition and abundance of zooplankton in Sevastopol Bay in the last 30 years. The factors that cause changes in the plankton community, which will allow to evaluate the productivity of the Sevastopol bay waters at different periods, as well as to monitor the marine environment.

Keywords: zooplankton, mesozooplankton, Sevastopol Bay, population dynamics.

Введение

Зоопланктон – часть планктона представленная животными организмами, которые пассивно переносятся течениями. Он является основой пищевых цепей в биоценозах водоёмов, является звеном, который связывает фитопланктон продуцирующий первичную биомассу, с высшими животными

Зоопланктон классифицируется:

- микропланктон (от 20-200 мкм) – простейшие, яйца и ранние стадии развития ракообразных, голопланктонные и меропланктонные личинки;
- мезопланктон (от 0,2-20 мм) – мелкие гидромедузы, ктенофоры, хетогнаты, аппендикулярии, яйца и личинки рыб, старшие ста-

дии и взрослые ракообразные, копеподы;

- макропланктон (от 2-20 см) – крупные виды гидромедуз, сцифомедузы, гребневики, медузы, амфиподы, личинки декапод [1].

Началось изучение зоопланктона в Черном море, побережья Севастополя в конце XIX в. Первые работы были посвящены в основном изучению таксономического состава фауны беспозвоночных [2-6]. Уже в 50-е годы был составлен «Определитель фауны Черного и Азовского морей». Однако в результате гидрохимических и гидрологических изменений в морской воде стали происходить и более значительные изменения в природных экосистемах. В этой связи появились работы, характеризующие состав зоопланктонного сообщества в зависимо-

сти от температуры, сезона года, солёности [7, 8], возрастных изменений [9]. Детальное изучение стадий копепод, продуктивность зоопланктона отражено в исследованиях Потёмкиной Д.А., Грезе В.Н. [10, 11]. Появились статьи Беляевой Н.В. и Загородней Ю.А., связанные с ростом антропогенного фактора [12-14]. Известны работы Петипа Т.С., Павловой Е.В. по изучению смертности зоопланктона в Севастопольской бухте [15-17, 18-21]. Об изменчивости, биологии функциональных особенностей отдельных видов зоопланктона свидетельствуют работы Прусовой И.Ю., Шадрин Н.В., Мурина В.В. [22, 23, 24-26, 27].

Большой вклад по изучению мезозоопланк-

тона, в частности копепод, за последнее десятилетие внесли исследования Губановой А.Д., Гарбазей О.А., Загородней Ю.А. [28-30, 31-33].

Одну из основных групп зоопланктона составляет мезозоопланктон, изменение которого мы рассмотрим в данной работе на примере Севастопольской бухты за последние 30 лет.

Описание исследования

На представленном рисунке 1 дана многолетняя динамика численности зоопланктона. Можно отметить, что за двадцатилетний период, начиная с 1976г, изменение планктонного сообщества шло в сторону деградации.

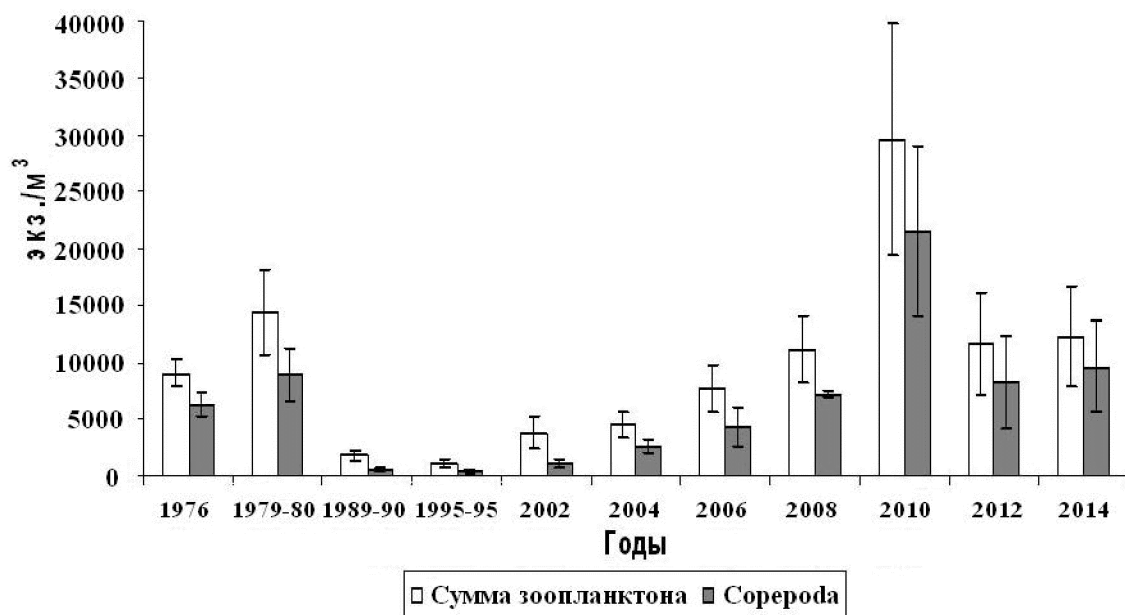


Рис. 1. Многолетняя динамика численности зоопланктона (экз./м³). $\pm s$ (стандартная ошибка)

При этом доминирующими факторами были: загрязнение бухты и её эвтрофикации после застройки мола; интродукция хищного гребневика *Mnemiopsis leidyi* в Чёрное море, а так же естественное колебание климата, связанные в частности с изменением циркуляции вод Северной Атлантики [3,4].

Ряд авторов, таких как: Павлова Е.В., Шадрин Н.В., Алексеев В.Р., Виноградов М.Е., Ковалев А.В., Губанова А.Д. [35, 36] показали увеличение биогенных веществ, нефти и нефтепродуктов в Севастопольской бухте в этот период. Отмечено, что наибольшему изменению подверглись организмы гипонейстоны, так как они населяют поверхностную плёнку воды, где и концентрируются тяжёлые металлы, углеводороды, радионуклиды и другие органические вещества антропогенного происхождения. Этот

период характеризуется наличием трёх видов ветвистоусых ракообразных – *Podon polyphenoides*, *Penilia ariostriis*, *Evadne spinifera* в отличие от шестидесятых годов, когда в Севастопольской бухте отмечалось 7 видов. Отмечено резкое сокращение массового в 60-ые годы, вида веслоногих раков *Acartia latisetosa* [37,38].

Освободившуюся нишу заняли близкородственный новый вид для Чёрного моря – *Acartia tonsa*, которая может выживать в более загрязнённых районах. Ещё большей эвтрофикации подверглась бухта в восьмидесятые годы. По концентрации бактериопланктона она перешла из мезотрофной в эвтрофную, что усугубилось построением мола в бухте и нарушением водообмена с открытым морем. Большой вклад в этот период вносит виды с широкой экологиче-

ской валентностью – *Acartia clausi*, *Acartia tonsa*, *Podori polyphenoides*, гетеротрофная динофлагеллята *N. scitilias*. Последняя является индикатором загрязнения вод [39]. На фоне исчезновения одних видов, выявлено было спонтанное увеличение других, таких как солоноватоводной копеподы *Calanipeda aquaedulcis*, что свидетельствуют о нестабильности сообщества в ухудшающихся условиях среды.

Появление в восьмидесятые годы в Черном море хищного гребневика *Mnemiopsis leidyi*, вызвало существенное изменение планктонного сообщества. Предполагают, что он был завезён с балластными водами из Атлантического побережья Северной Америки. Он не избирательный хищник и питается организмами от 0,01 до 10-15 мм [40].

Влияние его двойко: как хищника и как пищевого конкурента. Отличается высокой скоростью размножения, скоростью роста и высокая скорость питания [41,42]. При его появлении в Севастопольской бухте количество зоопланктона уменьшилось в 6 раз по сравнению с восьмидесятыми. Не отмечалось также пиков численности, характерных для сезонной динамики зоопланктона прибрежных вод Черного моря и в частности Севастопольской бухты [43-45]. Особое воздействие гребневика сказывалось на тех копеподах, которые достигают массового размножения в период репродукции и роста мнемииопсиса.

К таким видам относятся *Paracalanus parvus*, *Oithona nana*, *Centropages ponticus*, в то время как *Acartia clausi* напротив, довольно приспособленный вид к различным условиям окружающей среды и относится к малодоступным для гребневика.

Так же как и *Oithona similis* и *Pseudocalanus elongatus*, которые живут в более холодных слоях водной толщи. Таким образом, *Mnemiopsis leidyi* является значительным фактором, который привёл к изменению зоопланктонного сообщества.

В конце девяностых и начале 2000 годов в Севастопольской бухте появился новый вселенец *Beroe ovata*. Это специализированный хищник, который использует для своего питания только гребневика *Lobata*, к которым относится мнемииопсис. Он не переваривает других животных. Снижение обилия *Mnemiopsis leidyi* привело к значительному увеличению кормового планктона.

Результатом этого было появление новых видов таких как *Pontella mediterranea*, *Evadne spinifera*, а также увеличение численности

Penilia avirostris, *Centropages ponticus* [46-48].

С 2002 года отмечается изменение в сообществе мезозоопланктона уже на фоне улучшения качества среды обитания [46].

Положительным фактором для морской среды в этот период является практическое отсутствие поступления нефти, нефтепродуктов, тяжёлых металлов, пестицидов и других органических загрязнителей с суши. Так как после развала Советского союза были закрыты многие промышленные предприятия, ограничено судоходство и отсутствовали другие источники антропогенного загрязнения.

Отмечается увеличение и восстановление сообщества мезозоопланктона, увеличение его численности (см. рис.1). К 2004 году она выросла в 4 раза по сравнению с серединой 1990-х годов, при этом численность копепод выросла более чем в 7 раз.

С 2006 года рост численности стал происходить еще стремительнее и достиг максимального количества в 2010 году (суммарная среднегодовая численность мезозоопланктона достигала 29545 экз./м³, из них 21437 составляли копеподы). Этот рост связан с интродукцией в 2005 г. и стремительным развитием в последующие годы популяции нового вселенца в Черное море копеподы *Oithona davisae*.

В 2011 году численность кормового зоопланктона снизилась в 2 раза и до 2014 года не подвергалась значительным изменениям, при этом ее значения находились на уровне показателей 1979-80-х годов [49,50].

Заключение

Таким образом, проведённые исследования по динамике мезозоопланктона позволили проследить за его состоянием за последние 30 лет в Севастопольской бухте, показать его изменение при негативном влиянии загрязнения и хищников-вселенцев и других факторов.

Полученная многолетняя база данных является необходимой для оценки кормовой базы планктоноядных рыб, мониторинга морской среды, а также перспективного анализа долгосрочных изменений морских экосистем.

Список литературы

1. Раймонт Дж. Планктон и продуктивность океана. В 2 томах. Том 1. Фитопланктон. – Пер. с англ. — М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1983. — 568 с.
2. Галаджиев М.А. Сравнительный состав, распределение и количественные соотношения зоо-

- планктона Каркенинского залива и открытого моря в районе Южного берега Крыма // Тр. Севастоп. биол. станции. - 1948. - Т. 6. - С. 173-223.
3. Долгопольская М.А. Зоопланктон Черного моря в районе Карадага // Тр. Карадаг. биол. станции. - 1940. - Вып. 6. - С. 57-111.
 4. Ключарев К.Н. Материалы для количественной характеристики зоопланктона Черного моря у Карадага // Тр. Карадаг. биол. станции. - 1952. - К.: АН УССР. - Вып. 12. - С. 78-95.
 5. Кричагин Н. Отчет о фаунистических исследованиях, произведенных летом 1872 г. по поручению Киевского общества естествоиспытателей на восточных берегах Черного моря // Зап. Киевск. об-ва естеств. - 1873. - Вып. 3, №3. - С. 10-15.
 6. Уломский С.Н. Визначник Calanoida i Cyclopoida Чорного моря // Тр. Каркдаг. биол. станції. - 1940. - Вып. 6. - С. 145-171.
 7. Ковалев А.В. О размерах пелагических копепоид Черного, Средиземного и Адриатического морей в зависимости от условий обитания // Исследования Черного моря и его промысловых ресурсов. - 1967. - С. 63-66.
 8. Ковалев А.В. Сезонные изменения зоопланктона в Севастопольской бухте // Гидробиол. журн. - 1980. - Вып. 16, № 6. - С. 9-14.
 9. Зернов С.А. К вопросу о годичной смене черноморского планктона у Севастополя // Изв. Академ. наук. - 1904. - № 20. - С. 1-16.
 10. Грезе В.Н., Балдина Э.П., Билева О.К. Динамика численности и продукции основных компонентов зоопланктона в неритической зоне Черного моря // Биология моря. - К.: Наук.думка, 1971. - № 24. - С. 12-49.
 11. Потемкина Д.А. Возрастные стадии некоторых Copepoda Черного моря // Зоол. журн. - 1940. - Т. 19, вып. 1. - С. 119-125.
 12. Беляева Н.В., Загородняя Ю.А. Зоопланктон Севастопольской бухты в 1981 - 1983 гг. // Экология моря. - 1988. - Вып. 29. - С. 77-84.
 13. Загородняя Ю.А., Скрябин В.А. Современные тенденции изменений зоопланктона в прибрежных районах Черного моря // Исследования шельфовой зоны Азово-Черноморского бассейна: Сб. науч. тр. - Севастополь: МГИ НАНУ, 1995. - С. 87-96.
 14. Загородняя Ю.А., Ковалев А.В. Современное состояние зоопланктона прибрежных вод черного моря у берегов Крыма // Наукові записки Тернопільського державного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Серія: Біологія, №3 (14) Спеціальний випуск: Гідроекологія. - 2001. - С. 131-132.
 15. Павлова Е.В. Цикл развития и некоторые данные по росту *Penilia avirostris* Dana в Севастопольской бухте // Тр. Севастоп. биол. станции. - 1959. - Т. 11. - С. 54-62.
 16. Павлова Е.В., Кемп Р.Б. Влияние антропогенного загрязнения на биомассу летнего зоопланктона Севастопольской бухты // Акватория и берега Севастополя: экосистемные процессы и услуги обществу. - Севастополь: Аквавита, 1999. - С. 142-148.
 17. Павлова Е.В., Овсяный Е.И., Гордина А.Д., Романов А.С., Кемп Р.Б. Современное состояние и тенденции изменения экосистемы Севастопольской бухты // Акватория и берега Севастополя: экосистемные процессы и услуги обществу. - Севастополь: Аквавита, 1999. - С. 70-94.
 18. Петипа Т. С. Трофодинамика копепоид в морских планктонных сообществах. - К.: Наук.думка, 1981. - 242 с.
 19. Петипа Т.С. О среднем весе основных форм зоопланктона Черного моря // Тр. Севастоп. биол. станции. - 1957. - Т. 9. - С. 39-57.
 20. Петипа Т.С. Питание *Acartia clausi* Giesbr. и *A. Latisetisa* Kröyer в Черном море // Тр. Севастоп. Биол. станции. - 1959. - Т. 12. - С. 130-152.
 21. Петипа Т.С., Павлова Е.В. Смертность зоопланктона в Севастопольской бухте // Доп. НАН України. - 1995. - № 6. - С. 146-148.
 22. Прусова И.Ю., Губанова А.Д., Шадрин Н.В., Курашова Е.К., Тиненкова Д.Х. *Acartiatonsa Dana* (Copepoda, Calanoida) новый вид в зоопланктоне Каспийского и Азовского морей // Вест. зоол. - 2002. - Т. 36, № 5. - С. 65-68.
 23. Прусова И.Ю., Шадрин Н.В. Сезонные изменения численности и размеров двух форм *Acartia clausi* Giesbr. в Севастопольской бухте // Экология моря. - 1983. - Вып. 15. - С. 17-19.
 24. Мурина В.В. Меропланктон // Планктон Черного моря. - К.: Наук.думка, 1993. - С. 194-204.
 25. Мурина В.В., Лисицкая Е.В., Аносов С.Е. Видовой состав меропланктона как показатель экологической ситуации Севастопольской бухты // Акватория и берега Севастополя: экосистемные процессы и услуги обществу. - Севастополь: Аквавита, 1999. - С. 149-158.
 26. Мурина Г.-В.В., Шмелева А.А., Лисицкая Е.В. Годичный мониторинг меро- и голопланктона в океанариуме Севастопольской бухты // Гидробиол. журн. - 2002. - Т. 38, №3. - С. 3-10.
 27. Шадрин Н.В., Губанова А.Д., Попова Е.В., Долговременные изменения таксоцены *Acartia* (Copepoda) в Севастопольской бухте // Акватория и берега Севастополя: экосистемные процессы и услуги обществу. - Севастополь: Аквавита, 1999. - С. 159-167.
 28. Губанова А.Д. *Acartiatonsa Dana* в Севастопольской бухте: появление, размерная структура, сезонная динамика // Экология моря. - 2000. - Вып. 51. - С. 55-58.
 29. Губанова А.Д. Долговременные изменения таксоцены *Acartia* в прибрежных акваториях Черного моря // Современные проблемы океанологии шельфовых морей России: Тез. докл. междунар. конф. (Ростов-Дон, 13-15 июня 2002 г.). - Мурманск, 2002. - С. 45-46.
 30. Губанова А.Д. К вопросу о появлении

- Acartiatonsa DANA в Черном море // Дру-
гий збірник з гідроекологічного господарства України:
Тез. доп. - Київ, 1997. - Т. 1. - С. 24-25.
31. Загородняя Ю.А., Скрябин В.А. Современные тенденции изменений зоопланктона в прибрежных районах Черного моря // Исследования шельфовой зоны Азово-Черноморского бассейна: Сб. науч. тр. - Севастополь: МГИ НАНУ, 1995. - С. 87-96.
 32. Загородняя Ю.А., Ковалев А.В. Современное состояние зоопланктона прибрежных вод черного моря у берегов Крыма // Наукові записки Тернопільського державного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Серія: Біологія, №3 (14) Спеціальний випуск: Гідроекологія. - 2001. - С. 131-132.
 33. Губанова А.Д., Гарбазей О.А. Долговременная динамика популяции рода *Acartia* в Севастопольских бухтах в 2002-2014 годах. // печ. Ж. Экология и развитие общества, Санкт-Петербург - 2016. - №2(17). - С. 59-64
 34. Павлова Е.В. Цикл развития и некоторые данные по росту *Penilia avirostris* Dana в Севастопольской бухте // Тр. Севастоп. биол. станции. - 1959. - Т. 11. - С. 54-62.
 35. Павлова Е.В., Кемп Р.Б. Влияние антропогенного загрязнения на биомассу летнего зоопланктона Севастопольской бухты // Акватория и берега Севастополя: экосистемные процессы и услуги обществу. - Севастополь: Аквавита, 1999. - С. 142-148.
 36. Губанова А.Д. Долговременные изменения таксоцены *Acartia* в прибрежных акваториях Черного моря // Современные проблемы океанологии шельфовых морей России: Тез. докл. междунар. конф. (Ростов-Дон, 13-15 июня 2002 г.). - Мурманск, 2002. - С. 45-46.
 37. Губанова А.Д., Поликарпов И.Г., Сабурова М.А., Прусова И.Ю. Многолетняя динамика мезозoopланктона (на примере *Copepoda*) в Севастопольской бухте с 1976 по 1996 гг. // Океанология. - 2002. - Т. 42, № 4. - С. 537-545.
 38. Воловик С.П., Мирзоян З.А., Студеникина Е.И., Луц Г.И. Оценка последствий вселения гребневика в Азовское море // Рыбн. хоз-во. - 1996. - №1. - С. 48-51.
 39. Коваль Л.Г. Зоо- и некрозoopланктон Черного моря. - К.: Наук. думка, 1984. - 127 с.
 40. Брянцева Ю.В. Изменчивость структурных характеристик фитопланктона в Черном море: Автореф. дис... канд. биол. наук: 03.00.17 / ИнБЮМ НАН Украины. - Севастополь, 2000. - 17 с.
 41. Аннинский Б.С., Губанова А.Д. Химический состав и состояние гребневика *Mnemiopsis mcradyi* (Mayer) в Черном море // Гидробиол. журн. - 1998. - Т. 34, № 3. - С. 36-44.
 42. Заика В.Е., Ревков Н.К. Пища черноморского гребневика *мнемипсиса* в зависимости от состава зоопланктона // Гидробиол. журн. - 1998. - Т. 34, № 3. - С. 29-35.
 43. Грезе В.Н., Балдина Э.П., Билева О.К. Динамика численности и продукции основных компонентов зоопланктона в нееритической зоне Черного моря // Биология моря. - К.: Наук. думка, 1971. - № 24. - С. 12-49.
 44. Губанова А.Д., Поликарпов И.Г., Сабурова М.А., Прусова И.Ю. Многолетняя динамика мезозoopланктона (на примере *Copepoda*) в Севастопольской бухте с 1976 по 1996 гг. // Океанология. - 2002. - Т. 42, № 4. - С. 537-545.
 45. Пастернак А.Ф. Сезонная динамика численности и биомассы зоопланктона у побережья северного Кавказа // Сезонные изменения черноморского планктона. - М.: Наука, 1983. - С. 139-177.
 46. Губанов В.И., Стельмах Л.В., Клименко Н.П. Комплексные оценки качества вод Севастопольского взморья (Черное море) // Экология моря. - 2002. - Вып. 62. - С. 76-80.
 47. Finenko G.A., Romanova Z.A., Abolmasova G.I., Annensky B.E., Svetlichny L.S., Bat L., Kideys A.E. Population dynamics, investigation, growth and reproduction rates of *Beroeovata* and impact on plankton community in Sevastopol Bay, the Black Sea // J. Plankton. Res. - 2003. - Vol. 25, № 5. - P. 539-549.
 48. Губарева Е.С., Светличный Л.С., Романова З.А., Аболмасова Г.И., Аннинский Б.Е., Финенко Г.А., Бат Л., Кидейс А.Е. Состояние зоопланктонного сообщества Севастопольской бухты после вселения гребневика *Beroeovata* в Черное море (1999 - 2003 гг.) // Морской экологический журнал. - 2004. - Т. 3, №1. - С. 39-46.
 49. Гарбазей О.А., Губанова А.Д., Щекатурина Т.Л. Долговременная динамика популяции рода *Acartiidae* в Севастопольской бухте в 2002-2014 годах // Экология и развитие общества. - 2016. - № 2 (17). - С. 59 - 64.
 50. Гарбазей О.А., Губанова А. Д., Попова Е. В., Алтухов Д. А. Многолетняя и сезонная динамика численности копепоид *Acartia clausi* и *A. tonsa* в Севастопольской бухте в 2002-2014 гг. // Морские биологические исследования: достижения и перспективы: Сборник материалов всероссийской научно-практической конференции к 145-летию Севастопольской биологической станции, 19-24 сентября 2016 г., Севастополь. - ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. Стр. 140-143.

References

1. John Rayment. *Plankton and ocean productivity*. In 2 volumes. Volume 1. Phytoplankton. - Ed. from English. - M.: Light and food prom-st, 1983. - 568 p.
2. Galadzhiev M.A. *Comparative composition, distribution and quantitative ratios of zooplankton Karkenitskogo bay and the open sea near the southern coast of Crimea* // Tr. Sevastop. biol. station. - 1948. - Т. 6. - P. 173-223.
3. Dolgopolsky M.A. *Zooplankton of the Black sea near Karadag* // Tr. Karadag. biol. station. - 1940. -

- Vol. 6. - P. 57-111.
4. Klyucharev K.N. *Materials for the quantitative characteristics of zooplankton in the Black Sea Karadag* // Tr. Karadag. biol. station. -1952. - K. : Ukrainian Academy of Sciences. - Vol. 12. - P. 78-95.
 5. Krichagina N. *of faunal research report produced in the summer of 1872 at the request of the Kiev Society of Naturalists on the eastern shores of the Black Sea* // Zap. Kiev. ob vaestestv. - 1873. - Vol. 3, №3. - S. 10-15.
 6. Ulomsky S.N. *Viznachnik Calanoida i Cyclopoida Chorny Sea* // Trudy. Karkdag. biol. station. - 1940. - Vol. 6. - P. 145-171.
 7. Kovalev A.V. *About the size of pelagic copepods Black, Mediterranean and Adriatic Seas, depending on environmental conditions* // Studies of the Black Sea and its fisheries resources. - 1967. - P. 63-66.
 8. Kovalev A.V. *Seasonal changes in zooplankton in Sevastopol Bay* // Hidrobiol. Zh. - 1980. - Vol. 16, № 6. - S. 9-14.
 9. Grain S.A. *On the question of annual change in the Black Sea plankton at Sevastopol* // Math. Academ. Sciences. - 1904. - № 20. - S. 1-16.
 10. Dreaming V.N., Baldin E.P., Bilev D.C. *Dynamics of production and the major components of the zooplankton in the neritic zone of the Black Sea* // Marine Biology. - K. : Nauk.dumka, 1971. - № 24. - S. 12-49.
 11. Potemkin D.A. *Instar some Copepoda Black Sea* // Zool. Zh. - 1940. - V. 19, no. 1. - P. 119-125.
 12. Belyaeva N.V., Zagorodnyaya Y.A. *Zooplankton Sevastopol Bay in 1981 - 1983 gg.* // Ecology Sea. - 1988. - Vol. 29. - P. 77-84.
 13. Zagorodnyaya Y.A., Skryabin V.A. *Modern trends in changes of zooplankton in the coastal areas of the Black Sea shelf* // Research area of the Azov-Black Sea basin: ~ Sat. scientific. tr. - Sevastopol: MHI NASU, 1995. - P. 87-96.
 14. Zagorodnyaya Y.A., Kovalev A.V. *Current status of zooplankton in coastal waters of the Black Sea off the coast of the Crimea* // Naukovi notes Ternopil sovereign pedagogichnogo universitetu IM. Volodymyr Hnatyuk. Seriya: Biologiya, №3 (14) Spetsialniyvypusk: Hidroekologiya. - 2001. - P. 131-132.
 15. Pavlova E.V. *The cycle of development and some data on the growth Penilia avirostris Dana in Sevastopol Bay* // Tr. Sevastop. biol. station. - 1959.-T. 11. - P. 54-62.
 16. Pavlov E.V., Kemp R.B. *The impact of anthropogenic pollution on zooplankton biomass summer Sevastopol bay* // Water area and the coast of Sevastopol: ecosystem processes and services to the public. - Sevastopol: Aquavita, 1999. - P. 142-148.
 17. Pavlova E.V., Oat E.I., Gordin A.D., Romanov A.S., Kemp R.B. *Current status and trends of ecosystems* // Water area of Sevastopol Bay and the coast of Sevastopol: ecosystem processes and services to the public. - Sevastopol: Aquavita, 1999. - S.70-94.
 18. Petipa T.S. *trophodynamics copepods in marine planktonic communities.* - K. : Nauk.dumka, 1981. - 242 p.
 19. Petipa T.S. *On average, the weight of the main forms of zooplankton of the Black Sea* // Trudy. Sevastop. biol. station. - 1957.-T. 9. - P. 39-57.
 20. Petipa T.S. *Power Acartia clausi Giesbr. and A. Latisetisa Kritcz. in the Black Sea* // Trudy. Sevastop. Biol. station. - 1959. - V. 12. - S.130-152.
 21. Petipa T.S., Pavlova E.V. *The mortality of zooplankton in Sevastopol Bay* // Dop. National Academy of Sciences of Ukraine. - 1995. - № 6. - S. 146-148.
 22. Prusova I.Y., Gubanov A.D., Shadrin N.V., Kurashova E.K., Tinenkova D.H. *Acartiatonsa Dana (Copepoda, Calanoida) a new type of zooplankton in the Caspian and Azov Seas* // Vest.zool. - 2002. - T. 36, number 5. - S. 65-68.
 23. Prusova I.Y., Shadrin N.V. *Seasonal changes in the number and size of the two forms Acartia clausi Giesbr. in Sevastopol Bay* // Ecology Sea. - 1983. - Vol. 15. - P. 17-19.
 24. Murina V.V. *Meroplankton* // Plankton Black Sea. - K. : Nauk.dumka, 1993. - P. 194-204.
 25. Murina V.V., Lisitskaya E.V., Anosov S.E. *Species composition meroplankton as an indicator of the environmental situation of the Sevastopol bay* // Water area and the coast of Sevastopol: ecosystem processes and services to the public. - Sevastopol: Aquavita, 1999. - C. 149-158.
 26. Murina G.-V.V., Shmelev A.A., Lisitskaya E.V. *Annual monitoring mero- and zooplankton in the aquarium of Sevastopol Bay* // Hidrobiol. Zh. - 2002. - V. 38, №3. - S. 3-10.
 27. Shadrin N.V., Gubanov A.D., Popova E.V., *Long-term changes taxocene Acartia (Copepoda) in Sevastopol Bay* // Water area and the coast of Sevastopol: ecosystem processes and services to the public. - Sevastopol: Aquavita, 1999. - C. 159-167.
 28. Gubanov A.D. *Acartiatonsa Dana in Sevastopol Bay: appearance, size structure, seasonal dynamics* // Ecology of the sea. - 2000 - Vol. 51. - P. 55-58.
 29. Gubanov A.D. *Long-term changes taxocene Acartia in the coastal waters of the Black Sea* // Modern Problems of Oceanology of the Russian shelf seas: Tez.dokl. Intern. Conf. (Rostov-Don, 13-15 June 2002). - Murmansk, 2002. - C. 45-46.
 30. Gubanov A.D. *To a question about the appearance of Acartiatonsa DANA in the Black Sea* // Dru-giyz'izdgidroekologichnogotovaristvaUkraini: Tez.dop. - Kyiv, 1997. - T. 1. - P. 24-25.
 31. Zagorodnyaya Y.A., Skryabin V.A. *Modern trends in changes of zooplankton in the coastal areas of the Black Sea shelf* // Research area of the Azov-Black Sea basin: ~ Sat. scientific. tr. - Sevastopol: MHI NASU, 1995. - P. 87-96.
 32. Zagorodnyaya Y.A., Kovalev A.V. *Current status of zooplankton in coastal waters of the Black Sea off the coast of the Crimea* // Naukovi notes Ternopil sovereign pedagogichnogo universitetu IM.

- Volodymyr Hnatyuk. Seriya: Biologiya, №3 (14) Spetsialnyy Key infrastructure: Gidroekologiya. - 2001. - P. 131-132.
33. Gubanov A.D., Garbazey O.A. *Long-term population dynamics Acartia kind in Sevastopol Bay in 2002-2014, respectively.* //pech.Zh. Ecology and Society Development, St. Petersburg - 2016.-№2 (17) .- S.59-64
 34. Pavlova E.V. *The cycle of development and some data on the growth Penilia avirostris Dana in Sevastopol Bay* // Tr. Sevastop. biol. station. - 1959.-T. 11. - P. 54-62.
 35. Pavlov E.V., Kemp R.B. *The impact of anthropogenic pollution on zooplankton biomass summer Sevastopol bay* // Water area and the coast of Sevastopol: ecosystem processes and services to the public. - Sevastopol: Aquavita, 1999. - P. 142-148.
 36. Gubanov A.D. *Long-term changes taxocene Acartia in the coastal waters of the Black Sea* // Modern Problems of Oceanology of the Russian shelf seas: Tez.dokl. Intern. Conf. (Rostov-Don, 13-15 June 2002). - Murmansk, 2002. - C. 45-46.
 37. Gubanov A.D., Polikarpov I.G., Saburova M.A., Prusova I.Y. *Long-term dynamics mesozooplankton (on Copepoda example) in Sevastopol Bay from 1976 to 1996.* // Oceanology. - 2002. - T. 42, number 4.-S. 537-545.
 38. Volovik S.P., Mirzoyan Z.A., Studenikina E.I., Lutz G.I. *Evaluation of the consequences of introduction comb jelly in the Sea of Azov* // Fish. households in. - 1996. - №1. - S. 48-51.
 39. Koval L.G. *Animal and nekrozooplankton Black Sea.* - K. : Nauk.dumka, 1984. - 127 p.
 40. Bryantseva Y. *The variability of the structural characteristics of phytoplankton in the Black Sea:* Author. dis ... cand. biol. Sciences: 03.00.17 / IBSS NASU. - Sevastopol, 2000. - 17 p.
 41. Anninsky B.S., Gubanov A.D. *The chemical composition and condition of the comb jelly Mnemiopsis leidyi (Mayer) in the Black Sea* // Gidrobiol. Zh. - 1998. - T. 34, № 3. - S. 36-44.
 42. Zaika V.E., Revkov N.K. *Food Black Sea Mnemiopsis depending on the composition of zooplankton* // Gidrobiol. Zh. - 1998. - T. 34, № 3. - S. 29-35.
 43. Dreaming V.N., Baldin E.P., Bilev D.C. *Dynamics of production and the major components of the zooplankton in the neritic zone of the Black Sea* // Marine Biology. - K. : Nauk.dumka, 1971. - № 24. - S. 12-49.
 44. Gubanov A.D., Polikarpov I.G., Saburova M.A., Prusova I.Y. *Long-term dynamics mesozooplankton (on Copepoda example) in Sevastopol Bay from 1976 to 1996.* // Oceanology. - 2002. - T. 42, number 4.-S. 537-545.
 45. Pasternak A.F. *The seasonal dynamics of abundance and biomass of zooplankton off the coast of the Northern Caucasus* // Seasonal changes in the Black Sea plankton. - M. : Nauka, 1983. - P. 139-177.
 46. Gubanov V.I., Stelmakh L.V., Klimenko N.P. *Comprehensive assessment of water quality seaside Sevastopol (Black Sea)* // Ecology of the sea. - 2002. - Vol. 62. - P. 76-80.
 47. Finenko G.A., Romanova Z.A., Abolmasova G.I., Annensky B.E., Svetlichny L.S., Bat L., Kideys A.E. *Population dynamics, investigation, growth and reproduction rates of Beroeovata and impact on plankton community in Sevastopol Bay, the Black Sea* // J. Plankton. Res. - 2003. - Vol. 25, № 5. - P. 539-549.
 48. Gubarev E.S., Svetlichniy L.S., Romanova Z.A., Abolmasova G.I., Anninsky B.E., Finenko G.A., Bath L., Kideys A.E. *Status zooplankton community of Sevastopol Bay after the invasion of comb jelly Beroeovata into the Black Sea* // Marine Environment zhurnal.-2004-T (1999 and 2003).. 3, №1.- C.39-46.
 49. Garbazey O.A., Gubanov A.D., Schekaturina T.L. *Long-term dynamics of populations Acartiidae kind in Sevastopol Bay in 2002-2014 years* // Ecology and the development of society. - 2016. - № 2 (17). - S. 59 - 64.
 50. Garbazey O.A., Gubanov A.D., Popova E.V., Altukhov D.A. *perennial and seasonal population dynamics of copepods Acartia clausi and A. tonsa in Sevastopol Bay in the 2002-2014 biennium.* // Marine biological research: achievements and prospects: Collected materials of All-Russian scientific-practical conference dedicated to the 145th anniversary of the Sevastopol Biological Station, 19-24 September 2016, Sevastopol. - ECOS-Hydrophysics, 2016. Pp. 140-143.

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

УДК 634.0.813.11

Выбор оптимальной схемы технологического процесса очистки жидких радиоактивных отходов сложного состава лигниновыми сорбентамиВ.А. Ерофеев¹, О.В. Ворник², О.В. Ведищева³, Э.А. Культенко⁴*ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия. ¹vaerofeev@mail.ru, ²olga-vornik@yandex.ru, ³neynuvaeva@mail.ru. ⁴kultenkoe@mail.ru*

Статья поступила 06.03.2017 г.; после доработки 07.03.2017 г.

Аннотация

Рассмотрены основные сорбционные и технологические характеристики разработанных лигниновых сорбентов марки «Фолиокс». Определены кинетические и динамические параметры при взаимодействии лигниновых сорбентов с вредными примесями различного состава, при очистке жидких радиоактивных отходов, сточных и сбросовых вод, которые позволяют разрабатывать оптимальные технологические процессы эффективной очистки. Предложены технологические схемы очистки водных сред с использованием сорбента марки «Фолиокс» различных модификации в намывных фильтрах.

Ключевые слова: сорбенты лигниновые марки «Фолиокс»; технологические параметры; сорбционные емкости; эффективность сорбционной очистки; коэффициент очистки; коэффициент распределения; намывные фильтры.

Studying of the Mechanism of Processes of a Sorption of Radionuclides on Ion-exchange Lignin SorbentsV.A. Erofeev¹, O.V. Wornik, O.V. Vedischeva, E.A. Kulenko⁴*Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia
¹vaerofeev@mail.ru, ²olga-vornik@yandex.ru, ³neynuvaeva@mail.ru. ⁴kultenkoe@mail.ru*

Received 06.03.2017 y.; received in final form 07.03.2017 y.

Abstract

The main sorption and technological characteristics of the developed sorbent lignin brand "Folioks". The kinetic and dynamic parameters of the interaction of lignin sorbent harmful impurities arzlchnogo composition for cleaning of liquid radioactive waste, waste water and of fault, which allow you to develop optimal processes effective cleaning. offered technological schemes purification of aqueous media using the brand sorbent "Folioks" of various modifications in precoat filters.

Keywords: sorbents lignin brand "Folioks"; process variables; sorption capacity; the efficiency of sorption purification; decontamination factor; distribution ratio; Precoat filters.

Введение

Образующиеся при эксплуатации АЭС в больших объемах жидкие радиоактивные отходы необходимо кондиционировать и подвергать

глубокой очистки от радионуклидов. Учитывая, что основная масса энергоблоков РФ подходит к своему предельному сроку эксплуатации, то объемы образующихся жидких радиоактивных

отходов при выводе из эксплуатации энергоблоков резко возрастает. в связи с этим, значительно возрастет спрос на эффективные средства очистки технологических сред и образующихся в больших объемах жидких радиоактивных отходов (ЖРО) от радионуклидов и вредных примесей [1].

Сорбенты из лигнинсодержащего материала могут сыграть важную роль для решения задач очистки водных сред от радионуклидов и других вредных примесей.

Ранее было отмечено [1], что ионный обмен на лигниновых сорбентах характеризуется рядом особенностей, которые необходимо учитывать при расчете параметров ионообменных процессов на технологических средствах очистки, в первую очередь необходимо учитывать тот факт, что принятая модель очистки водных сред на лигниновых сорбентах связана с процессами диффузии вредных компонентов внутрь зерна и будет ограничена двумя, определяющими кинетику процесса, видов взаимодействия: сорбция-десорбция. Здесь необходимо учесть, что эта модель в полной мере применима только лишь для однозарядных катионов, всех видов анионов и других компонентов, не имеющих электростатический заряд. Многозарядные ионы практически не участвуют в процессах десорбции (это очень важный момент при использовании статических технологии сорбционной очистки), так как в результате хемосорбции они образуют прочные хелатные соединения с активными группами, присутствующих в структуре лигнинового сорбента [2].

Для выбора оптимальной схемы технологического процесса очистки водных сред сложного учитывалась математическая внутридиффузионная модель ионообменного процесса [1], которая наиболее достоверно описывает сорбционные процессы на лигниновых сорбентах.

Широкое использование сорбционных технологий идет по пути, как совершенствования известных методов очистки, так и по пути создания новых (как правило, селективных) сорбентов, на основе которых намечаются новые технические и технологические решения, например, создание мобильных модульных технологий, наряду со стационарными системами, позволяющих оперативно решать вопросы очистки локальных водных сред от вредных и токсичных примесей.

Задачей настоящей работы предложить наиболее рациональные схемы технологического процесса очистки жидких радиоактивных отхо-

дов лигниновыми сорбентами, как альтернативной малозатратной технологии.

Постановка цели научной работы

Целью настоящей работы являются определение оптимальной схемы процесса сорбционной очистки радиоактивных отходов сложного состава лигниновыми сорбентами, учитывая, что конечной целью технологического процесса переработки жидких радиоактивных отходов и других соединений с вредными примесями, является сокращение их объемов, с последующей изоляцией от окружающей среды, то в данном случае должны быть решены две задачи:

1. оптимизация технологических процессов с получением минимального объема концентрированных отходов, подлежащих дальнейшей переработке и захоронению;
2. очистка больших объемов низкоактивных радиоактивных отходов до или ниже допустимых ПДК, с целью сброса их в окружающую среду.

На основании теоретических исследований, результатов лабораторных и натурных испытаний лигниновых сорбентов и сравнений с эксплуатационно-технологическими характеристиками других средств очистки, позволит дать оценку условиям работ лигнинового сорбента, при которых могут быть достигнуты наилучшие качественные, экономические, инженерно-технические, дозовые и трудозатратные показатели предлагаемой технологии.

Определение путей повышения эффективности сорбционной очистки сорбентом «Фолиокс»

Для решения поставленной задачи использовались результаты исследований влияния физико-химических характеристик раствора сложного состава на качество и эффективность процесса сорбции при очистке от радионуклидов и других примесей в целом на лигниновых сорбентах.

Схема исследований представлена на рис.1. Для выполнения работы отбирались доступные при проведении исследований лигниновые сорбенты [3, 4]. Эти сорбенты с четко выраженными селективными свойствами к многозарядным катионам и некоторым другим ингредиентам, обусловленными как их природными происхождением, так и технологией их получения.

Для выбранных сорбентов определены их сорбционные свойства по основным радионуклидам, входящих в состав ЖРО: ТУЭ, Cs, Sr

и Со, а также некоторых не радиоактивных загрязнителей (Mn, Fe, Cu и др.)

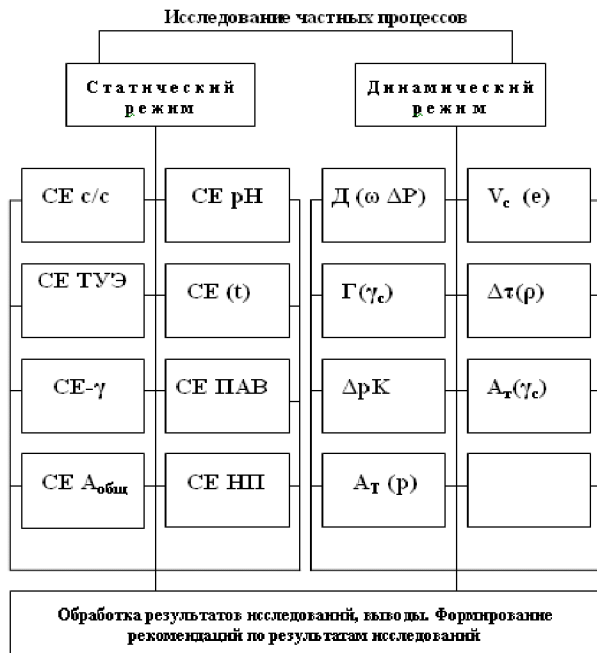


Рис.1 – Схема исследований.

На рис.1 обозначены:

- (СЕ – с/с) – сорбционная емкость по растворенным солям;
- (СЕ – ТУЭ) – Сорбционная емкость по ТУЭ;
- (СЕ – γ) – Сорбционная емкость по γ – излучателям (Cs, Co);
- (СА_{общ}) – Общая сорбционная емкость по радионуклидам (РОЕ – по сумме радионуклидов);
- СЕ (рН) – влияние рН на сорбционную емкость;
- СЕ (t) – влияние температуры раствора на процессы ионного обмена;
- СЕ (нп) – влияние ПАВ на сорбционную емкость по основным ингредиентам;
- V_с (е) – влияние гидродинамических характеристик на кинетику сорбции;
- Δτ (ρ) – зависимость времени макропроцесса динамики сорбции от фракционного состава;
- А_т (v_с) – зависимость диффузионных характеристик сорбента от скорости фильтрации раствора;
- Д (ω ΔР) – зависимость величины проскока тонкодисперсной фазы сорбента от линейной скорости и перепада давления на намывном фильтре;
- Δrk – характеристика механической прочности сорбента или критических перепадах давлений.

Теоретическое обоснование исследуемых процессов технологии очистки лигниновыми сорбентами

При исследовании факторов влияющих на эффективность технологий процессов сорбционной очистки выделяет две стадии:

I стадия – построение математической модели исследуемого процесса;

II стадия – лабораторные исследования на модельных растворах, лабораторные и натурных испытаний на реальных средах (при сложном химическом и радиохимическом составе среды).

Для лабораторных исследований нами использована ранее разработанная модель внутридиффузионной кинетики процесса адсорбции, которая в общем виде представляет феноменологическую нелинейную модель внутренней диффузии в лигниновых сорбентах с переменным, зависящими от концентрации сорбируемого компонента. В общем виде эта зависимость будет иметь вид [1]

$$\frac{\partial a}{\partial t} = \text{div} [D_{\text{эф}}(a) \text{grad}(a)], \quad (1)$$

где $a(x, y, z)$ – локальная концентрация сорбируемого (десорбируемого) иона в точке среды (x, y, z) в момент времени t

$D_{\text{эф}}(a)$ – переменный коэффициент внутренней диффузии.

Переменным коэффициентом внутренней диффузии $D_{\text{эф}}(a)$ с некоторыми допущениями может выступать, как коэффициент внутренней диффузии, который можно определить из классического уравнения внутренней диффузии [2]

$$F = 1 - \frac{6}{q \cdot \pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \cdot e^{-\frac{D_{\text{эф}} \cdot n^2 \pi^2 \cdot t}{\left(\frac{d_{\text{эф}}}{z}\right)^2 \cdot q^2}} \quad (2)$$

где F – степень заполнения емкости сорбента;
 $D_{\text{эф}}$ – эффективный коэффициент внутренней диффузии;
 t – время достижения определенной степени сорбента;

$d_{\text{эф}}$ – эффективный диаметр частиц сорбента;

q – изменение объема сорбента при набухании

Эффективный диаметр частиц сорбента определяют через основные характеристики зернистого материала по формуле:

$$d_{\text{эф}} = 4 \varepsilon_0 / a, \quad (3)$$

где $\varepsilon_0 = (v - v_t) / v = v_0 / v$;

a – удельная поверхность сорбента;

V – общий объем занимаемый зернистым слоем;

V_0 – свободный объем слоя;

V_τ – объем, занимаемой частицами, образующими слой.

При анализе кинетических кривых адсорбции возникает необходимость определения точечного значения равновесной концентрации примесей в сорбенте, соответствующей полной статической обменной емкости (ПСОЕ).

Стандартная ПСОЕ определяется по уравнению (4)

$$\sum_{OH}^{COOH} = \frac{25H[Ba(OH)_2 + 12,52H(HCl)_a HBa(OH)_2]}{A[100 - (W + 3)]}, \quad (4)$$

где a – количество $Ba(OH)_2$ пошедшее на обратное титрование, мл;

A – навеска лигнинового сорбента (сухого), г;

W – влажность лигнинового сорбента, %;

3 – зольность лигнинового сорбента, %.

С целью определения общего количества функциональных групп – $COOH$, – OH (фенольные) определяющих величину стандартную ПСОЕ проводили функциональный анализ по методикам [6]

Экспериментальная статическая обменная емкость (ПСОЕ) образцов определялась в ходе лабораторных исследований на основании экспериментальных данных по формуле (5)

$$A = \frac{C_0 - C}{m} V, \quad (5)$$

где A – экспериментальная статическая обменная емкость (ПСОЕ) мг-экв/г;

C_0 и C – исходная и конечная концентрация в растворе моль/дм³;

V – объем раствора, дм³;

m – масса навески лигнинового сорбента, г.

Наиболее полное представление об эффективности сорбционного процесса по конкретным загрязнителям дает коэффициент распределения (k_p) который рассчитывается по формуле (6):

$$k_p = \frac{C_0 - C}{C_0} \cdot \frac{V}{m}, \quad (6)$$

где k_p – коэффициент распределения, моль/г;

C_0 и C – исходная и конечная концентрации соответственно, моль/дм³;

V – объем раствора, дм³;

m – масса навески лигнинового сорбента.

Для радиоактивных водных сред в формуле (6) C_0 и C заменяют на A_0 и A (исходная и конечная радиоактивность). Для построения модели сорбции натурных испытаний приняли следующие условия: процесс очистки разбивается на условные микроциклы, количество которых соответствует количе-

ству колоночных объемов, при котором объем очищаемой жидкости соответствует объему загруженного сорбента [7]. В рамках микроцикла условия сорбции принимаются статические. В принятых условиях закономерности адсорбционных процессов независимо от агрегатного состояния очищаемой среды (вода, газ) выражаются аналитическими зависимостями Лэнгмюра и Фрейндлиха (7,8):

$$\varepsilon = \varepsilon_\infty \frac{bc}{1 + bc}; \quad (7)$$

$$\varepsilon = mc^n, \quad (8)$$

где b , m , n – эмпирические константы, зависящие от свойства сорбента, температуры процесса и т.п.

В практическом плане по оптимизации сорбционной технологии приведенные уравнения (6, 7) использовать не представляется возможным, так как они не содержат показателей характеризующих динамику процесса.

На практике интерес представляет так называемая эффективная (полезная) сорбционная емкость, поскольку очистке подлежат водные системы (растворы) сложного химического и радиохимического состава, компоненты которых значительно влияют на снижение емкости сорбента по отношению к элементам, очистка от которых является целью технологии.

В реальном растворе компонентами, снижающими эффективную сорбционную емкость, могут быть, растворенные неорганические соединения (соли), взвешенные частицы («блокируют» эффективную поверхность сорбции), поверхностно-активные вещества (ПАВ), нефтепродукты и т.п.

С учетом влияющих факторов эффективная емкость определяется как [9].

$$\varepsilon_A^\Sigma = \varepsilon_A^0 - \varepsilon_A^{\text{св}} - \varepsilon_A^{\text{д}} - \varepsilon_A^{\text{ПАВ}} - \varepsilon_A^{\text{НП}}. \quad (9)$$

Составляющие, характеризующие снижение эффективной сорбционной емкости определяют экспериментальным путем.

По мере насыщения сорбционной емкости относительная скорость сорбционных процессов (Δw) меняется по закону:

$$W = m/r_m, \quad (10)$$

где m – порядковый номер микроцикла.

Общее время сорбции [10]

$$\tau = \sum_{m=0}^{m=n} \tau_m. \quad (11)$$

В момент насыщения сорбента, выраженный в колоночных объемах их предел наступит: если $m \rightarrow n$ $\tau \rightarrow \infty$; если $\tau \rightarrow \infty$ $w \rightarrow 0$.

В этом случае справедлива зависимость (12,13)

$$\tau_m = b \cdot \ln \frac{n}{n-m}; \quad (12)$$

$$W_m = \frac{Q_m}{V_c \cdot \tau_m} = \frac{m}{r_m} = \frac{m}{b \cdot \ln \frac{n}{n-m}}. \quad (13)$$

Из формулы (12) находят выражение для определения коэффициента b (14):

$$b = \frac{\gamma_c(n-m)}{Q \cdot \ln \frac{n}{n-m}}. \quad (14)$$

Исходя из выражения (14) и технических характеристик сорбента «Фолиокс КГМ» используемого в наших исследованиях (согласно исходных данных и ТУ на сорбент $n=1000$, $\gamma_c=1 \text{ дм}^3$, $Q=50 \text{ дм}^3$) получим значение b для диапазона микроциклов от $m=1$ до $m=n$ коэффициент $b=3$, подставляя полученных коэффициент в выражения (12) и (13) строят зависимость для τ_m и W_m приведенные на рис. 2.

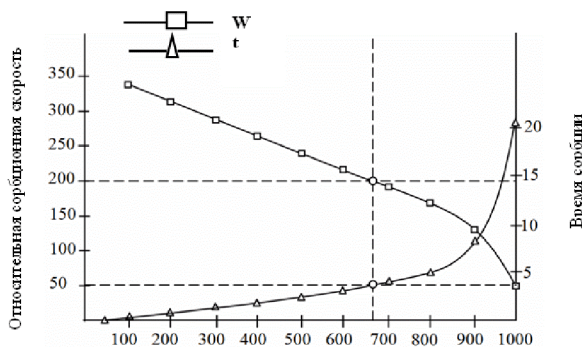


Рис. 2. Зависимость времени сорбции и скорости сорбционного процесса от выработки сорбента

Решая уравнение Лэнгмюра (7) относительно динамических показателей получают (15):

$$\frac{m}{n} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{\infty}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{bc\tau}}, \quad (15)$$

где $bc = 1/b$; $bc\tau$ — безразмерное время.

$$bc \cdot \tau_m = \frac{m/n}{1 - m/n}, \text{ тогда } bc \cdot \tau_m = \ln \frac{1}{1 - \frac{m}{n}},$$

отсюда степень выработки сорбента

$$\frac{m}{n} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{\infty}} = 1 - e^{-bc\tau_m}. \quad (16)$$

Из графика видно, что сорбент «Фолиокс» эффективно может использоваться на штатных

насыпных фильтрах без изменения конструкции и принятой технологии очистки.

Характерные точки А и Б показывают возможность увеличения скорости очистки (а вместе с ней и производительности) в 4 раза за счет установки более низкого порога отработки сорбционной емкости ($n=670$). Одним из факторов снижающих качество очистки, является транзит радионуклидов в очищенный раствор на носителе, каковым является тонкодисперсная фракция сорбента насыщенная радионуклидами.

При правильном выборе Δp (перепад давления до и после фильтра) в установившемся гидравлическом режиме проскок тонкодисперсной фракции не наблюдается.

Причиной проскока тонкодисперсной фракции является нарушение гидравлического равновесия (переключение гидросистемы, пуск и остановка насоса, попадание в систему воздуха, явление микрокавитации в капиллярно-пористой структуре сорбента и т.п.).

Следует иметь ввиду, что фракции сорбента имеют не одинаковую прочность, поэтому необходимо стремиться к возможно большему проценту рабочей фракции сорбента ($\approx 75-80\%$) и его однородности.

Проскок радионуклидов снижает степень очистки среды но практически не влияет на сорбционную емкость, поэтому удаление из раствора дисперсии — это вопрос кондиционирования очищенного продукта.

Экспериментальная часть

Для реализации поставленной задачи — определение путей повышения эффективности и совершенствование технологий сорбционной очистки была проведена серия опытов и стендовых (натурных) испытаний включающих экспериментальные работы и расчеты, выполненные по результатам обработки экспериментальных данных. Лабораторные исследования проводили в статических и динамических условиях. в качестве подвижной и неподвижной фазы использовали как модельные растворы солей: Cs^+ , Sr^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{3+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , NH_4^+ , Cl^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} в концентрациях от $1,0 \text{ мг/дм}^3$ до 50 г/дм^3 так и реальные среды (ЖРО, воды душевых и спецпрачечных АЭС, дезактивационные воды и др.). Химический и радиохимический состав и концентрации которых определялся непосредственно перед исследованием.

Для исследований использовали лигниновые модифицированные сорбенты типа «Фолиокс» порошковые и гранулирование порошковые

фракции 150-750 мкм; гранулирование фракции 0,3-0,85 мм (с содержанием рабочей фракции не менее 50%).

Ph варьировалась в зависимости от поставленной задачи от 5 до 10. Температурный интервал исследований 298-333 К.

Скорость подвижной фазы, при лабораторных исследованиях установили 1,5-2,5 см³/мин. Хроматографическая колонна d=15 мм, высота слоя сорбента h=100 мм, объем очищаемого раствора V=3000 мл, режим фильтрации «сверху-вниз» со сбросом элюата в приемную емкость. Фильтрат отбирался через 200-350 см³ до установления загрязнения фильтрата на уровне 97-98% от исходного раствора.

Для определения статических параметров сорбента (ПСОЕ, k_p) брали навески сорбента по 1 г, с точностью до 0,0001 г, предварительно доведенных до постоянного веса и помещали в стакан емкостью 50 мл, куда добавляли растворы приготовленных солей объемом 25 мл и перемешивали с помощью магнитной мешалки. Экспериментальные данные статических параметров адсорбционных и ионообменных процессов контролировались на атомно-адсорбционном спектрофотометре (ААС) «Сатурн-4ЭПАВ» с электротермическим и пламенным анализатором.

Результаты анализа обрабатывали на ПК «An Lab».

Радиометрические и дозиметрические параметры контролировались на радиометре КРК-1 и гамма-спектрометре серии «Канберра».

Для изучения и получения исходных данных для расчета параметров термодинамических адсорбционных процессов в условиях обращено-фазовой хроматографии и получения исходных данных для расчета термодинамических величин использовали хроматограф «Миличром А-02» с ультрафиолетовым детектором, позволяющим осуществлять многоволновое детектирование в области 190-360 нм.

Натурные (стендовые) испытания сорбента Фолиоокс проводили при очистке реальной технологической среды АЭС на намывном ионообменном фильтре типа АФНм-0,8-10 с принятыми технологическими параметрами для очистки трапных вод на АЭС. Результаты исследований приведены в таблице 1 - 8 и рисунках 1 - 4.

Объем очищаемого раствора V=3000 мл, режим фильтрования «сверху-вниз» со сбросом элюентом в приемную емкость. Фильтрат отбирался через 200-350 см³ до установления загрязнения фильтрата на уровне 97-98% от исходного раствора.

Таблица 1. Величина предельной адсорбции сорбента «Фолиоокс КГМ»

№ п/п	Образцы	№ опытов	Масса образца, г	Величина предельной адсорбции (мг/г)
1	Раствор CsNO ₃ (1 г/дм ³)	1	1,0009	4,90
		2	1,0001	4,43
		3	0,9999	4,07
2	Раствор SrNO ₃ (1 г/дм ³)	1	1,004	5,45
		2	1,0002	5,41
		3	1,0001	5,53

На рис. 3 представлена зависимость степени заполнения емкости сорбента «Фолиоокс КГМ» при различных концентрациях CsNO₃

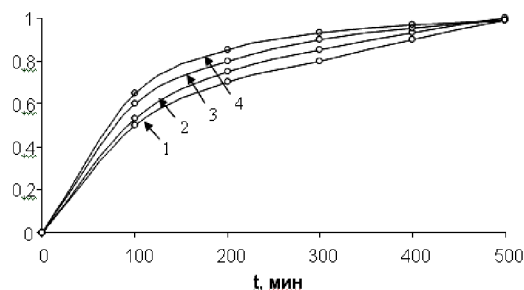


Рис.3 Зависимость степени заполнения емкости сорбента «Фолиоокс КГМ» при разных концентрациях SrNO₃: 1 – 0,5 г/дм³; 2 – 1,0 г/дм³; 3 – 2 г/дм³; 4 – 5 г/дм³.

Таблица 2. Концентрации катионов некоторых загрязнителей до и после очистки в динамических условиях сорбентом «Фолиоокс КГМ»

Исследуемая среда	Концентрация загрязнителей, мг/дм ³					
	Cu ²⁺	Mn ²⁺	Co ²⁺	Cd ²⁺	Ni ²⁺	NH ₄ ⁺
Модельный раствор (мг/дм ³)	1,9	1,8	2,1	3,1	2,3	9,46
ПДК (мг/дм ³)	1,0	0,1	0,1	0,001	0,1	2,0
Фильтрат после очистки модельного раствора (мг/дм ³) (3,0 дм ³)	0,05	0,5	0,6	0,3	0,4	2,0
Сточные воды (мг/дм ³)	5,2	1,0	1,5	1,6	1,5	5,2
Фильтрат после очистки сточных вод (мг/дм ³)	1,3	0,2	0,2	0,04	0,1	1,3

(3,0 дм ³)						
------------------------	--	--	--	--	--	--

Таблица 3. Концентрация анионов некоторыми загрязнителями до и после очистки в динамических условиях сорбентом «Фолиокс КГМ»

Исследуемая среда	Концентрация, мг/дм ³		
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻
Модельный раствор, (мг/дм ³)	265,5	229,5	10,5
ПДК (мг/дм ³)	100	100	10,5
Фильтрат после очистки модельного раствора 3 дм ³ (мг/дм ³)	17,7	95,5	3,0
Сточные воды, (мг/дм ³)	177,7	200	6,5
Фильтрат после очистки сточных вод 3 дм ³ (мг/дм ³)	12,5	83,5	2,4

а) Изотерма сорбции железа модельного раствора

Исходная концентрация Fe ³⁺ в модельном растворе с = 6,3 мг/дм ³ , V = 500 см ³ ; m _c = 5г;					
Время контакта с сорбентом (час)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Фильтрат после очистки C _{исх} =6,3 мг	4,3	3,85	3,81	3,08	3,0

б) Изотерма сорбции железа модельного раствора

Исходная концентрация Fe ³⁺ в модельном растворе с = 0,38 мг/дм ³ V = 500 см ³ ; m _c = 5г;					
Время контакта с сорбентом (час)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Фильтрат после очистки C _{исх} =0,38 мг/дм ³	0,027	0,0151	0,0150	0,0150	0,015

Результаты определения СОЕ для некоторых радионуклидов согласно ГОСТ 20.255.1-89 приведены в таблице 5. Лабораторные испытания эффективности очистки конденсата вторичного пара установок СВО-3 и СВО-7 III энергоблока ЧАЭС. Использовался сорбент марки «Фолиокс – ГМ». Через хроматографическую колонку – [колоночный объем (к.о.)] который равен 800 см³ пропускали 15 к.о. исследуемой среды со скоростью 1,0 ÷ 1,5 к.о./час. Отбирались пробы на спектрометрический и химический анализ и анализ на содержание нефтепродуктов в пробах при интервалах фильтрации: 1к.о.; 2 к.о.; 3к.о.; 4к.о.; 5 к.о.; 10 к.о.; 15 к.о. Результаты анализа приведены в таблице 8.

Таблица 4. Показатели эффективности сорбента Фолиокс КГМ при очистке вод спецпрачечных

Объем очищенной среды V _{ср} дм ³	Масса сорбента m, г	Показатели среды до очистки (исх.)		Показатели среды после очистки (фильтрат)		Коэффициент очистки k _{оч}	Коэффициент разделения k _p
		Химический состав, С (мг/дм ³)	Радиохимический состав, А (Бк/дм ³)	Химический состав, С (мг/дм ³)	Радиохимический состав, А (Бк/дм ³)		
5,0	15	pH=9,5	Co ⁵⁸ =2.0·10 ⁴	Co ⁵⁸ =0.8·10 ²	pH=8,7	250	83
		C _{Cl} ⁻ =501	Co ⁶⁰ =7.8·10 ⁴	Co ⁶⁰ =1.4·10 ²	C _{Cl} ⁻ =308	558	185
		Ж _{общ.} =450	Ag ¹¹⁰ =2.6·10 ⁴	Cs ¹³⁷ =1.68·10 ³	Ж _{общ.} =275	30,5	10
		C _{Na} ⁺ =820	Cs ¹³⁷ =5.1·10 ⁴	Cs ¹³⁴ =0.7·10 ³	C _{Na} ⁺ =369	8,5	2,8
		C _K ⁺ =180	Cs ¹³⁴ =5.9·10 ⁴		C _K ⁺ =183	54	17,8
		C _{Li} ⁺ =4.0			C _{Li} ⁺ =0,8		
		C _{Fe} ³⁺ =2.0			C _{Fe} ³⁺ -не обн.		
		C _{ПАВ} =45,0	ΣA=1.9·10 ⁵	ΣA=3.5·10 ²	C _{ПАВ} =0,23	195,6	194,7

Таблица 5. Результаты определения СОЕ для некоторых радионуклидов [8]

Образцы	№п/п образца	СОЕ (мг-экв/г)								
		Cs ⁺	Sr ²⁺	Hg ²⁺	Pb ²⁺	Cd ²⁺	Cu ²⁺	Cr ³⁺	Fe ³⁺	UO ₂ ²⁺
Фолиокс КГМ (по-рошковый)	1	5.0	6.0	4.4	7.0	4.0	7.0	6.9	7.9	6.1
	2	5.0	6.0	4.5	7.0	3.9	7.0	6.9	8.0	6.1
	3	4.9	6.0	4.5	7.0	3.9	7.0	6.8	8.0	6.1
Фолиокс КГМ	1	4.8	5.8	4.1	6.9	3.6	6.8	6.7	7.1	6.0

(гранулированных)	2	4.8	5.8	4.2	7.0	3.6	6.9	6.6	7.2	5.9
	3	4.8	5.8	4.2	6.9	3.6	6.9	6.6	7.2	5.9

Таблица 6. Величина предельной адсорбции.

Образцы	№ пп образ-ца	Массы образцов m, (г)	Величина предельной адсорбции, а, (мг/г)
Фолиоокс КГМ (порош-ковый)	1	1.00006	184.4
	2	1.0001	182.7
	3	0.9999	180.9
Фолиоокс КГМ (гранулированных)	1	1.0004	173.6
	2	1.0002	171.9
	3	1.0005	166.8

Испытаний модульной установки ЛУ-2 2) Объем очищенной среды – 250 дм³ отбор (объем «Укрытия») по очистки ЖРО. проб через каждые 50 дм³

Условия проведения испытаний:

1) масса сорбента «Фолиоокс» – 5 кг; Скорость фильтрации – 10 колоночных объ-емов в час

Таблица 7. Результаты испытаний установки ЛУ – 2 [9]

Объем ЖРО про-пущенный через ЛУ-2, дм ³	Радиохимический объем состав до и после очистки									
	A _{об} Бк/дм ³	Cs ¹³⁷ Бк/дм ³	Cs ¹³⁴ Бк/дм ³	Co ⁶⁰ Бк/дм ³	U мкг/дм ³	Pu Бк/дм ³	K _{общ}	K ₁₃₇	K _U	K _{Pu}
Исходная среда	2,35·10 ⁶	1,8·10 ⁶	5,73·10 ⁵	2,13·10 ³	1224	5,01·10 ²	-	-	-	-
После фильтрации 50 дм ³	1,8·10 ⁵	2,8·10 ⁴	5,1·10 ³	0,9·10 ²	24	27	13,0	108	51	15,5
После фильтрации -100 дм ³	0,95·10 ⁴	1,95·10 ³	0,29·10 ³	4,1·10	19,5	16,0	247	275	62,76	31,3
После фильтрации – 150 дм ³	2,97·10 ³	4,59·10 ²	1,0·10 ⁴	2,97·10	12	15	791	390	102	36
После фильтрации - 200 дм ³	4,49·10 ³	9,8·10 ²	3,8·10 ⁴	3,0·10	9	12,5	523	183	136	40,0
После фильтрации - 250 дм ³	2,1·10 ⁴	1,94·10 ³	3,95·10 ⁴	3,01·10	7	11	107,4	93	175	49

Таблица 8. Результаты анализов после очистки конденсата вторичного пара установок СВО-3 и СВО-7 сорбен-том «Фолиоокс»

№ проб	Исходные данные					Результаты анализа		
	m _c (г)	к.о. (см ³)	pH _{исх}	A _{исх} (Бк/дм ³)	C _{н.п. исх} (мг/дм ³)	pH _ф	A _ф (Бк/дм ³)	C _{н.п.ф} (мкг/дм ³)
1	700	800	9,3	1,43·10 ²	0,131	3,0	14	0,032
2	700	1600	-	-	-	3,42	11	0,031
3	700	2400	-	-	-	3,86	10	0,033
4	700	3200	-	-	-	4,1	0,9	0,04
5	700	4000	-	-	-	4,4	0,86	0,053
6	700	8000	-	-	-	4,7	0,91	0,06
7	700	12000	-	-	-	4,9	1,2	0,081

Результаты исследований и практи-ческие рекомендации

Проведенные лабораторные исследования и натурные испытания технологических комплексов с использованием различных модификации лигни-новых сорбентов марки «Фолиоокс» показали до-

вольно высокие сорбционные и технологические качества. Так, в слабозасоленных технологических средах, ЖРО и сточных водах с содержанием до 5 г/дм^3 динамическая обменная емкость для некоторых элементов составила, мг-экв/см³ [10]: $\text{Sr}^{2+}=5,4$; $\text{Cs}^{+}=3,2$; $\text{Co}^{2+}=6,2$; $\text{VO}_2^{2+}=6,4$; $\text{Fe}^{3+}=6,8$.

В присутствии ПАВ до 1% и растворенных нефтепродуктов до 800 мг/дм^3 и солености более 5 г/дм^3 . Значение динамической обменной емкости мг-экв/см³ достигнуты: $\text{Sr}^{2+}=2,8$; $\text{Cs}^{+}=1,7$; $\text{Co}^{2+}=4,2$; $\text{VO}_2^{2+}=5,6$; $\text{Fe}^{3+}=4,9$.

Даже присутствие значительного количества загрязнителей по многозарядным катионам получены достаточно высокие значения динамических обменных емкостей, что подтверждает высокую избирательную способность сорбента «Фолиоокс». Достигнутые высокие технологические показатели: динамика сорбции, гидравли-

ческие, геометрические и физико-химические параметры процесса показывают целесообразность использования в процессах очистки намывных фильтров типа АФНм и центробежных экстракторов типа ЭТЦ, в которых наиболее полно реализуются технико-экономические возможности сорбентов марки «Фолиоокс».

Сорбенты на основе лигнина и его модификации ТУУ 246-30578756.001.2002 зарегистрирован в торговой палате АР Крым под торговой маркой «Фолиоокс™».

Полученные результаты испытаний и опыт в локальных условиях эксплуатации очистных систем показали возможность их широкого применения в следующих технологических схемах очистки (табл. 9)

Таблица 9. Технологические схемы очистки с использованием сорбента марки «Фолиоокс»

№	Вид очистки	Технологическая схема
1	Очистка питьевых и сточных вод от тяжелых металлов, радионуклидов, фенолов, цианидов, роданидов, СПАВ, нефтепродуктов	Применение двух каскадных насыпных фильтров с подачей горячей вод под слой ($t=70-80^\circ\text{C}$). Сорбент «Фолиоокс Г» $\text{Коч}=8\div 15$
2	Очистка засоленных и сильнозасоленных ЖРО от радионуклидов, ТУЭ, тяжелых металлов, нефтепродуктов и СПАВ. Очистка отработанных смазочных материалов от радионуклидов	Применение намывного фильтра с многократной циркуляцией очищаемой среды (кратность $15\div 20$). «Шоковая» регенерация фильтра; Состав шахты сорбенты: Фолиоокс П-40% Фолиоокс Г-60% $\text{Коч}\geq 100$
3	Очистка дезактивационных вод от радионуклидов, с повторным использованием очищенных вод для дезактивирующих рецептур по замкнутому циклу	Применение мобильного (автономного) узла очистки на принципах работы намывного фильтра или центробежного экстрактора Сорбенты Фолиоокс ПГ – $50/50$ $\text{Коч}=30\div 50$
4	Ультразвуковая дезактивация загрязненного оборудования с использованием в качестве дезактивирующей рецептуры суспензию порошкового сорбента Фолиоокс П ($d=40-80 \text{ мкм}$) С концентрацией $C\geq 5-7 \text{ г/дм}^3$	Применение ультразвуковой ванны и мобильного узла очистки с намывным фильтром или центробежным экстрактором. Сорбенты Фолиоокс Г – 100% $\text{Коч}=70\div 100$
5	Очистка воздушной сферы помещений от радиоактивных газов и аэрозолей, дыма, паров кислот. Ядовитых жидкостей, Cl_2 , NH_3 , CO_2 , паров масел, бензина и др.	Применение автономных водозащитных устройств (типа МЭЖУС) с добавлением в рабочую среду сорбента Фолиоокс П, с периодической очисткой среды от отработанного сорбента в рабочей среде на съемном фильтрующем патроне (снаряженным сорбентом Фолиоокс Г) $\text{Коч}=89\div 99 \%$

Заключение

Ежегодно образующиеся в больших объемах жидкие радиоактивные отходы. Промышленные стоки и вредные атмосферные выбросы требуют кардинального решения вопросов их очистки и изоляции от окружающей среды. Эту задачу позволят решать внедренные в практику эффективные и малоэнергоёмкие технологии. Такой технологией может быть сорбционная очистка сред от вредных примесей лигниновыми сорбентами.

Проведенные исследования в этом вопросе и опыт эксплуатации систем очистки с использованием лигниновых сорбентов показал их универсальность, что позволяет использовать его с большой эффективностью в технологиях очистки ЖРО от радионуклидов, промышленных и сточных вод от вредных примесей, питьевой воды от тяжелых металлов и анионных компонентов вредных примесей

Простота изготовления и неограниченная сырьевая база (отходы сельскохозяйственного производства – косточка плодов сельскохозяйст-

венных культур, солома, верхний перекарп грецкого ореха, подсолнечная лузга и т.д.). Которая ежегодно возобновляется, позволяет экономически выгодно решать вопросы крупнотоннажного производства сорбента марки «Фолиоокс». При этом утилизируются отходы сельскохозяйственного производства с получением полезного продукта.

Кроме того, в некоторых случаях, например, при очистке от вредных примесей не радиоактивного характера, отработанный сорбент может стать сырьевой базой для получения другого продукта – преобразователя ржавчины (ППР). ППР лигниновый в настоящее время производится в промышленных масштабах из тех же отходов сельскохозяйственного производства.

Необходимо продолжать исследование сорбционных свойств лигниновых препаратов выделенных из других растительных материалов (рисовая шеллу, кукурузная шелуха, шелуха пшеницы, виноградная косточка). С целью выявления общих закономерностей динамики сорбции при разработке условий их модификации.

Кроме решения этой задачи, решается другая задача – расширение сырьевой базы для крупнотоннажного производства сорбента.

Литература

1. Ерофеев В.А. Изучение механизма процессов сорбции радионуклидов на ионообменных лигниновых материалах/В.А.Ерофеев; Н.И. Черкашина, Д.Ю. Сулавко, Э.А. Культенко // Энергетические установки и технологии, 2016 – Т2 №2 – с. 83-90
2. Ерофеев В.А. Физико-химическая модель взаимодействия препаратов лигнина в процессах очистки ЖРО / В.А. Ерофеев, Н.И. Черкашина, Э.А. Культенко // экология и развитие общества, 2015, - Вып.2(13). – с. 23-27.
3. Пат. Украины №93844 МПК⁵ BOIJ 20/30 C02F 1/28/ Способ получения косточкового порошкового модифицированного сорбента «Фолиоокс КГМ» / Ерофеев В.А., Пилипченко И.И., Черкашина Н.И.; заявитель и патентообладатель СНУЯЭиП №201 0011280. Заявл 13.04.2010 опубл. 10.03.2010 Бюл. №5
4. Пат. РФ №2589484 «Способ получения селективного сорбента/Ерофеев В.А., Пилипченко И.И., Культенко Э.А.; заявитель и патентообладатель Пилипченко И.И. №2015119875 заявл. 26.05.2015 Зарегестр в Госреестре 09.06.2016. Срок действия до 26.05.2035г.
5. Черкашина Н.И. Кинетика сорбции радионуклидов при различных концентрациях органических и неорганических примесей / Н.И.Черкашина, В.А. Ерофеев, А.В.Васина // Сб.науч.тр СНУЯЭ-

иП- Севастополь: СНУЯЭиП, 2011 – вып. 4(40) – с. 180-184

6. Закис Г.Ф.Функциональный анализ лигнина и его производных / Г.Ф.Закис – Рига, Зинатне, 1987, - 230с.
7. Стрихарь О.Л. «Оптимизация процессов очистки и утилизации жидких радиоактивных отходов объекта «Укрытие» с учетом их элементного состава / О.Л. Стрихарь, О.Б. Андропов // Журнал Проблемы Чернобыля МНТЦ «Укрытие» НАНУ – Чернобыль, 2002, вып.9, с. 155-162.
8. Черкашина Н.И. Определение кинетических характеристик сорбента для очистки ЖРО / Н.И. Черкашина, В.А. Ерофеев, Д.Ю.Сулавко // Сб. научных работ СНУЯЭиП, - Севастополь, СНУЯЭиП, 2012 вып 4(44) – с.109 – 113.
9. Стрихарь О.Л. Разработка технологий и технических средств для очистки жидких радиоактивных отходов объекта «Укрытие» / О.Л. Стрихарь, Н.И. Ковалев, В.Я. Скляр, В.А. Ерофеев, В.Е. Хан, И.А. Агеева // Журнал проблемы Чернобыля – Чернобыль МНТЦ «Укрытие» НАУ, 1999 г. № 3, - с.8-11
10. Ерофеев В.А. Применение модифицированных природных сорбентов марки «Фолиоокс» в системах очистки ЖРО / В.А.Ерофеев; А.М.Акимов, В.Ю. Ключев, Р.А. Акимов // Научно-технический сборник «Экология и атомная энергетика» - сосновый бор, 2001, вып.1 – с. 91-94.

References

1. Erofeev V.A. Izuchenie mehanizma protsessov sorbsii radionuklidov na ionoobmennyyh ligninovyih materialah/V.A.Erofeev; N.I. Cherkashina, D.Yu. Sulavko, E.A. Kulenko // Energeticheskie ustanovki i tehnologii, 2016 – T2 #2 – s. 83-90. Yerofeev VA Study of radionuclide sorption on ion exchange mechanism of lignin materials / V.A.Erofeev; NI Cherkashina DY Sulavko, EA Kulenko // Power plants and Technology, 2016 - T2 №2 - with. 83-90.
2. Erofeev V.A. Fiziko-himicheskaya model vzaimodeystviya preparatov lignina v protsessah ochistki ZhRO / V.A. Erofeev, N.I. Cherkashina, E.A. Kulenko // ekologiya i razvitie obschestva, 2015, - Vyip.2(13). – s. 23-27. Yerofeev VA Physico-chemical model of the interaction of lignin products in the process of LRW cleaning / VA Yerofeev, NI Cherkashina EA Kulenko // Ecology and the development of society, 2015 - Issue 2 (13). - from. 23-27.
3. Pat. Ukrainyi #93844 MPK⁵ BOIJ 20/30 S02F 1/28/ Sposob polucheniya kostochkovogo poroshkovogo modifitsirovannogo sorbenta «Folioks KGM» / Erofeev V.A., Pilipchenko I.I., Cherkashina N.I.; zayavitel i patentoobladatel SNUYaEiP #201 0011280. Zayavl 13.04.2010 opubl. 10.03.2010 Byul. #5. Pat. Ukraine №93844 MPK⁵ S02F BOIJ 20/30 1/28 / A method for producing kernel "Folioks KGM" powder modified sorbent / Yerofeev

- VA Pilipchenko II, NI Cherkashina .; the applicant and the patentee SNUNEI №201 0011280. stated 13.04.2010 published. 10.03.2010 Bull. №5
4. Pat. RF #2589484 «Sposob polucheniya selektivnogo sorbenta/Erofeev V.A., Pilipchenko I.I., Kulenko E.A.; zayavitel i patentoobladatel Pilipchenko I.I. #2015119875 zayavl. 26.05.2015 Zaregistr v Gosreestre 09.06.2016. Srok deystviya do 26.05.2035g. Pat. Russian Federation №2589484 «The process for producing selective sorbent / Yerofeyev VA .. Pilipchenko II, Kulenko EA .; the applicant and the patentee Pilipchenko II №2015119875 appl. 26.05.2015 06.09.2016 Zaregistr in the State Register. Valid until 26.05.2035g.
 5. Cherkashina N.I. Kinetika sorbtzii radionuklidov pri razlichnykh kontsentratsiyah organicheskikh i neorganicheskikh primesey / N.I.Cherkashina, V.A. Erofeev, A.V.Vasina // Sb.nauch.tr SNUYaEiP- Sevastopol: SNUYaEiP, 2011 – vyip. 4(40) – s. 180-184. Cherkashina NI The kinetics of radionuclide sorption at different concentrations of organic and inorganic impurities / N.I.Cherkashina, VA Yerofeyev, A.V.Vasina // Sb.nauch.tr SNUYaEiP-Sevastopol: SNUNEI, 2011 - Vol. 4 (40) - a. 180-184
 6. Zakis G.F.Funktsionalnyi analiz lignina i ego proizvodnykh / G.F.Zakis – Riga, Zinatne, 1987, - 230s. Zakis G.F. Funktsionalny analysis of lignin and its derivatives / G.F.Zakis - Riga, Zinatne 1987 - 230c.
 7. Strihar O.L. «Optimizatsiya protsessov ochistki i utilizatsii zhidkikh radioaktivnykh othodov ob'ekta «Ukrytie» s uchetom ih elementnogo sostava / O.L. Strihar, O.B. Andropov // Zhurnal Problemyi Chernobyilya MNTTs «Ukrytie» NANU – Chernobyil, 2002, vyip.9, s. 155-162. Strihar OL "Optimization of the liquid radioactive waste treatment and disposal processes of the object" Shelter "in view of their elemental composition / OL Strihar, OB Andropov // Journal of Chernobyl problems ISTC "Shelter" NASU - Chernobyil, 2002, vyp.9 with. 155-162.
 8. Cherkashina N.I. Opredelenie kineticheskikh harakteristik sorbenta dlya ochistki ZhRO / N.I. Cherkashina. V.A. Erofeev, D.Yu.Sulavko // Sb. nauchnykh rabot SNUYaEiP, - Sevastopol, SNUYaEiP, 2012 vyip 4(44) – s.109 – 113. Cherkashina NI Determination of the kinetic characteristics of the sorbent for purification of LRW / NI Cherkashina. VA Yerofeyev, D.Yu.Sulavko // Coll. scientific papers SNUNEI - Sevastopol, SNUNEI 2012 No. 4 (44) - p.109 - 113.
 9. Strihar O.L. Razrabotka tehnologii i tehnicheskikh sredstv dlya ochistki zhidkikh radioaktivnykh othodov ob'ekta «Ukrytie» / O.L. Strihar, N.I. Kovalev, V.Ya. Sklyar. V.A. Erofeev, V.E. Han, I.A. Ageeva // Zhurnal problemyi Chernobyilya – Chernobyil MNTTs «Ukrytie» NAU, 1999 g. # 3, - s.8-11. Strihar OL Development of technologies and equipment for treatment of liquid waste radioaktivnyh "Shelter" object / OL Strihar, NI Kovalev, VY Sklar. VA Erofeev, VE Khan, IA Ageev // Journal of Chernobyl problems - ISTC Chernobyl "Shelter" UNAM, 1999 № 3 - s.8-11
 10. Erofeev V.A. Primenenie modifitsirovannykh prirodnykh sorbentov marki «Folioks» v sistemah ochistki ZhRO / V.A.Erofeev; A.M.Akimov, V.Yu. Klyuev, R.A. Akimov // Nauchno-tehnicheskii sbornik «Ekologiya i atomnaya energetika» - sosnovyy bor, 2001, vyip.1 – s. 91-94. Yerofeyev VA The use of modified natural sorbents brand "Folioks" in LRW / V.A.Erofeev treatment systems; A.M.Akimov, VY Klyuyev, RA Akimov // Scientific-technical collection "Environment and nuclear energy" - a pine forest, 2001, Issue 1 - p. 91-94.

УДК 629.12

Совершенствование функциональных свойств судовых систем очистки нефтесодержащих вод

В.И. Истомин¹, С.Е. Тверская², В.В. Хлебникова³

ФГАОУ ВО «Севастопольского государственного университета», ул. Университетская, 33
г. Севастополь, 299029, Россия, ^{1,3} v-istomina@mail.ru, ²svetterskaya@mail.ru

Статья поступила 08.02.2017 г.; после доработки 09.02.2017 г.

Аннотация

В данной статье на основе комплексного подхода разработана новая принципиальная схема системы очистки судовых нефтесодержащих вод с усовершенствованными свойствами, которая позволяет производить промежуточное удаление отстоявшихся нефтепродуктов, обладает минимальной эмульсирующей способностью, длительное время обеспечивает высокую степень очистки нефтесодержащих вод при оптимальной производительности, не требует частой разборки и замены фильтроэлемента.

Ключевые слова: совершенствование, комплексный подход, система очистки, нефтесодержащие воды, функциональные свойства.

Improving functional properties of ship systems for purifying oil-contain waters

V.I. Istomin¹, S.E. Tverskaya², V. V. Hlebnikova³

Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st, c. Sevastopol,
299029, Russia, ^{1,3} v-istomina@mail.ru, ²svetterskaya@mail.ru

Received 08.02.2017 y.; received in final form 09.02.2017 y.

Abstract

In this article, based on an integrated approach, has developed a new principled scheme of system for purifying oil-contain waters with improved properties, which allows produce removal defend petroleum products, has minimal emulsion ability, for a long time ensures a high degree of purification of oil-contain waters at an optimum capacity, does not require frequent disassembly and filter element replacement.

Keywords: improving, comprehensive approach, purifying system, oil-contain waters, functional properties.

Введение

В связи с ужесточившимися в последние годы требованиями Международной конвенции MARPOL – 73/78 [1] к качеству очистки судовых нефтесодержащих вод вопросы совершенствования функциональных свойств судовых сепарационных установок и систем для очистки нефтесодержащих вод выдвинулись в число первоочередных задач человечества, то есть является актуальным и своевременным с практической точки зрения проведение исследований по повышению эф-

фективности очистки судовых льяльных вод.

Кроме конструкции самой сепарационной установки на качество очистки судовых нефтесодержащих вод оказывает существенное влияние тип перекачивающего устройства, наличие отстойной емкости, взаимное расположение элементов в системе, поэтому является целесообразным проведение исследований в области разработки принципов оптимальной компоновки систем для очистки судовых нефтесодержащих вод [2,3].

Для повышения эффективности исполь-

зования средств предотвращения загрязнения моря и создания высокоэффективных сепарационных установок и систем нового поколения необходимо комплексное исследование всех аспектов процесса очистки судовых нефтесодержащих вод, которое позволит усовершенствовать функциональные свойства сепарационных установок и систем и учитывать влияние всех элементов судовой энергетической установки на эффективность очистки.

Целью исследований является повышение экологической безопасности судов за счет совершенствования функциональных свойств судовых сепарационных установок и систем очистки нефтесодержащих вод.

Изложение основного материала

Для повышения эффективности очистки нефтесодержащих вод современные судовые фильтрующие установки и системы должны обладать следующими функциональными свойствами:

- обеспечивать предварительную гравитационную очистку нефтесодержащих вод;
- производить промежуточное удаление отстоявшихся нефтепродуктов;
- обеспечивать требуемую степень очистки нефтесодержащих вод;
- работать длительное время без разборки и замены фильтроэлементов сепарационной установки;
- обеспечивать возможность регенерации фильтроэлементов;
- иметь минимальное гидравлическое сопротивление;
- обладать минимальной эмульгирующей способностью;
- сохранять требуемую степень очистки даже при аварийных протечках воды и нефтепродуктов;
- обладать простотой конструкции и эксплуатации;
- иметь рациональную производительность.

Включение в состав системы одной или двух отстойных цистерн нефтесодержащих вод позволяет перекачивать льяльные воды из колодцев машинного отделения в первую отстойную цистерну, где происходит их предварительное отстаивание в течение нескольких суток.

В процессе отстаивания нефтесодержащие воды очищаются от большей части механических примесей и нефтепродуктов, концентрация которых в придонном слое цистерны составляет (100...200) млн⁻¹. Далее предварительно очищенная вода подается на сепаратор. В этом

случае фильтрующий элемент меньше загрязняется, существенно увеличивается ресурс его работы, а также на выходе сепарационной установки гарантированно обеспечивается высокое качество очистки.

Отделенные в отстойной цистерне нефтепродукты не загрязняют сепаратор, а сохраняются в отстойной емкости в течение нескольких месяцев, затем они перекачиваются, минуя сепаратор, на приемные береговые сооружения. Таким образом, наличие отстойной емкости позволяет существенно повысить качество очистки нефтесодержащих вод и значительно увеличить ресурс работы фильтро-элементов сепаратора, кроме того, это обеспечивает нормальную работу системы даже в экстремальных условиях при аварийных протечках нефтепродуктов и воды в машинном отделении, так как можно оперативно откачать большое количество нефтесодержащих вод в сборную емкость, а затем произвести их постепенное отстаивание и очистку без перегрузки сепаратора.

Насосы, подающие нефтесодержащие воды в сепаратор должны быть тихоходные и объемного типа (винтовые, поршневые) [4] для того, чтобы меньше дробить эмульсию, так как мелкие капли нефтепродуктов (менее 20мкм) существенно хуже сепарируются из воды. Также перекачивающие насосы должны иметь большую высоту всасывания и быть способными перекачивать сильно загрязненную механическими примесями жидкость.

Сепарационная установка должна иметь как можно меньшее гидравлическое сопротивление (менее 0,05МПа), так как в результате исследования влияния конструктивных и эксплуатационных характеристик насосов на дисперсный состав эмульсии установлено, что чем меньше противодавление на нагнетании насоса, тем крупнее диаметр частиц дисперсной фазы нефтеводяной эмульсии, следовательно, качество очистки нефтесодержащих вод будет выше [3]. Кроме того, фильтроэлементы, обладающие малым гидравлическим сопротивлением, как правило, имеют значительно больший ресурс работы до его замены или регенерации.

Для достижения лучшего качества очистки сепарационные установки устанавливают на всасывании насоса, при этом исключается эмульгирование внасосе, ведущее к образованию мелких капелек нефти, значительно ухудшающих работу сепарационной установки.

По данным испытаний, нефтесодержание на выходе сепараторов при переводе их на вакуумный режим снижалось в 1,5...2 раза [2,3].

Однако, работа сепаратора в вакуумном ре-

жиме по сравнению с работой в напорном режиме имеет некоторые недостатки: усложняется система слива нефтепродуктов, необходима тщательная герметизация установки и насос с большой высотой всасывания.

С целью повышения качества очистки, уменьшения габаритов сепарационного оборудования и устранения недостатков при работе сепаратора в вакуумном режиме разработана система для очистки нефтесодержащих вод, принципиальная схема которой показана на рис. 1.

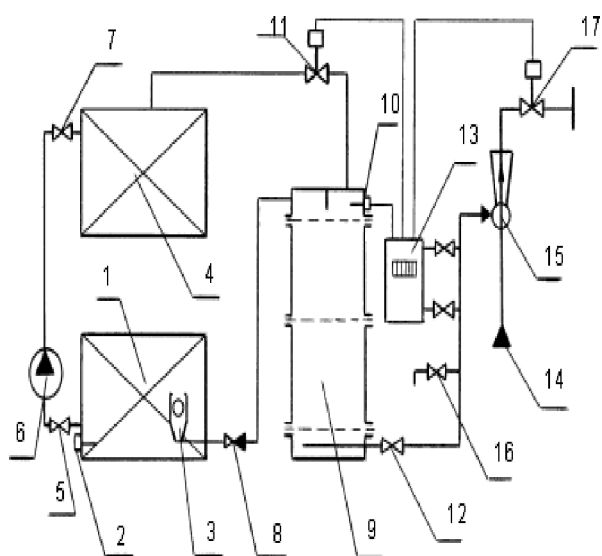


Рис. 1. Система очистки судовых нефтесодержащих вод

Новизна основных конструктивных элементов разработанной системы защищена авторским свидетельством СССР №1667890 [5].

На рис. 1 приняты следующие обозначения:

- 1 – цистерна для сбора нефтесодержащих вод;
- 2, 10 – датчики уровня нефтепродуктов;
- 3 – приемное устройство;
- 4 – цистерна для сбора отсепарированных нефтепродуктов;
- 5, 7, 12 – запорные клапаны;
- 6 – насос для перекачки нефтепродуктов;
- 8 – невозвратный клапан;
- 9 – сепаратор;
- 11 – электромагнитный клапан вывода отсепарированных нефтепродуктов;
- 13 – блок автоматики и контроля концентрации;
- 14 – трубопровод рабочей жидкости эжектора;
- 15 – эжектор;
- 16 – прободоотборный кран;

- 17 – электромагнитный клапан сброса очищенной воды за борт.

Система работает следующим образом. Рабочая жидкость забортная вода от пожарной или санитарной системы судна подается по трубопроводу 14 в эжектор 15, при этом нефтесодержащая вода засасывается из сборной емкости 1 в сепаратор 9 и очищается от нефтепродуктов. После сепаратора 9 очищенная вода дополнительно разбавляется рабочей жидкостью эжектора и сбрасывается за борт. При этом клапан 17 открыт, а клапан 11 закрыт. После накопления нефтепродуктов в сепараторе 9 до датчика уровня нефтепродуктов 10, срабатывает блок автоматики 13, клапан 17 закрывается, а клапан 11 открывается и осуществляется вытеснение нефтепродуктов из сепаратора рабочей жидкостью эжектора. Таким образом, в режиме очистки эжектор создает вакуум в сепараторе, а в режиме удаления нефтепродуктов – избыточное давление. После удаления нефтепродуктов клапан 17 открывается, а клапан 11 закрывается и процесс очистки нефтесодержащих вод возобновляется.

При увеличении концентрации нефтепродуктов в очищенной воде более 15 млн^{-1} блок автоматики и контроля концентрации 13 подает сигнал на закрытие клапана 17 и открытие клапана 11, при этом сепаратор 9 промывается обратным потоком забортной воды. После промывки процесс очистки продолжается.

В разработанной системе вытеснение отсепарированных нефтепродуктов осуществляется рабочей жидкостью эжектора при переключении клапанов 11, 17, что исключает применение отдельного насоса для нефтепродуктов, значительно упрощает процесс удаления нефтепродуктов и позволяет автоматизировать процесс. Все это устраняет основные недостатки системы с сепаратором, установленным на всасывании насоса.

Кроме того, для эжекторов отношение расхода рабочей жидкости к расходу всасываемой жидкости в среднем равно 4, поэтому в эжекторе происходит дополнительное четырехкратное снижение концентрации нефтепродуктов в очищенной воде. Также водоструйные эжекторы надежны в работе, имеют малые габариты и вес, обеспечивают равномерную подачу воды, обладают хорошим всасыванием, способны перекачивать сильно загрязненную жидкость.

Таким образом, в системе для очистки нефтесодержащих вод не происходит дополнительного эмульгирования нефтепродуктов, устранены основные недостатки, характерные для систем с сепаратором, установленным на всасывании насоса. Кро-

ме того, осуществляется дополнительное снижение концентрации нефтепродуктов в очищенной воде разбавлением рабочей жидкостью эжектора, что при малых габаритах сепарационной установки позволяет удовлетворить требованиям Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов MARPOL -73/78.

Заключение

На основе комплексного подхода разработана новая принципиальная схема системы очистки судовых нефтесодержащих вод с усовершенствованными свойствами, которая позволяет производить промежуточное удаление отстоявшихся нефтепродуктов, обладает минимальной эмульсирующей способностью, длительное время обеспечивает высокую степень очистки нефтесодержащих вод при оптимальной производительности, не требует частой разборки и замены фильтроэлемента.

Разработанные рекомендации для совершенствования функциональных свойств судовых систем очистки нефтесодержащих вод могут быть использованы для очистки нефтесодержащих вод береговых объектов.

Список литературы

1. Международная Конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973г., измененная протоколом 1978 г. к ней (МАРПОЛ-73/78). Кн. I и II. – СПб.: ЗАО "ЦНИИМФ", 2008. -761с.
2. Истомин В. И. Предотвращение загрязнения моря нефтью при эксплуатации судов: Учеб. пособие / В. И. Истомин. -Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2003. -100с.
3. Истомин В. И. Комплексная очистка судовых нефтесодержащих вод: Монография. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2004. - 202с.
4. Истомин В. И. Требования, предъявляемые к насосам / В. И. Истомин, Сборник научных работ Военно-морского института им. П. С. Нахимова. - Севастополь. -2003. -Вып.2. - С.101 – 103.
5. А.с. № 1667890 СССР. МКИ В 01 Д 17/022, G 05 Д 27/00. Система для очистки нефтесодержащих сточных вод / В.И. Истомин (СССР). - №4495921/26; заявл. 29.07.88; опубл. 07.08.91; Бюл. №29 // Открытия, изобретения – 1991. - №29.

References

1. Mezhdunarodnaya Konvencia po predotvrasheniyu zagryazneniya s sudov 1973y., izmenennaya protokolom 1978y. k ney (The International Convention on predotvrasheniyu Pollution from Ships, 1973., Measurable, nennaya Protocol of 1978 relating thereto) (MARPOL 73/78). Bk. I and II. – SPb.: ZAO "TSNIIMF" 2008. -761p.
2. Istomin V.I. Predotvrashenie zagryaznenia morya neft'u pri ekspluatatsii sudov: Ucheb. posobie (Prevention of pollution of the sea by oil, the operation of vessels: Proc. Benefit) / V.I. Istomin. - Sevastopol: Izd. SevNTU, 2003. - 100p.
3. Istomin V.I. Kompleksnaya ochistka sudovyuh neftesoderzhashih vod: Monografiya (Integrated cleaning ship-oily waters: Monograph). - Sevastopol: Izd. SevNTU, 2004. – 202p.
4. Istomin V.I. Trebovaniya, pred'yavlyaemye k nasosam (Requirements for pumps) / V.I. Istomin, Collection of scientifiction works Naval Institute by the name of P.S. Nakhimov. - Sevastopol. - 2003. - Vyp.2. - P.101 - 103.
5. A.S. Number 1667890 USSR. The MCI 01 D 17/022, G 05 D 27/00. Sistema dlya ochistki neftesoderzhashih stochnyh vod (The system for cleaning of oil-contain waste waters) / V.I. Istomin (USSR). -№4495921 / 26; appl. 29/07/88; publ. 08/07/91; Bull. №29 // Discoveries and inventions - 1991. - №29.

УДК 539.1

К вопросу о физических и математических моделях активации азота в I контуре водо-водяного энергетического реактора

А.В. Крютченко¹, П.А. Пономаренко², М.А. Фролова³ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, ³trezvyv.vzglyad@mail.ru

Статья поступила 14.02.2017 г.; после доработки 16.02.2017 г.

Аннотация

Выполнен анализ появления азота в I контуре ядерного реактора. Разработаны физические и математические модели процессов поведения изотопов природного азота в активной зоне под действием существующего в ней нейтронного поля.

Ключевые слова: нейтронное поле, гидразин-гидрат, азот, радиоуглерод, математическая модель, физическая модель

It is to the Question About Physical and Mathematical Models of the Activation of Nitrogen in the First Circuit of the Water Power Reactor

A.V. Kryutchenko¹, P.A. Ponomarenko², M.A. Frolova³Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, ³trezvyv.vzglyad@mail.ru

Received 14.02.2017 y.; received in final form 16.02.2017 y.

Abstract

It is made the analysis of the emergence of nitrogen in the first circuit of the nuclear reactor. Physical and mathematical models of the processes behavior of the natural nitrogen in the active zone are developed under the effect of the existing neutron fields in it.

Keywords: neutron field, hydrazine hydrate, nitrogen, radiocarbon, mathematical model, physical model

Введение

Основными критериями при выборе материалов для оборудования в обычной энергетике являются механическая прочность и коррозионная стойкость.

К материалам для АЭС: реакторов, трубопроводов I контура, насосов I контура, парогенераторов, компенсаторов давления и других составляющих АЭУ предъявляются более высокие требования, связанные с действием на них радиационных факторов.

В перечисленных элементах АЭС материалы, из которых они изготовлены, работают в контакте с определенными средами, на которые действуют также радиационные факторы.

Поэтому и к средам в атомной энергетике

предъявляются в первую очередь требования особой чистоты или нормирования строгой концентрации и качества примесей в них. Этого требует минимизация любых примесей в воде, которая идет на заполнение I контура. Это вода высокой чистоты (ВВЧ) с сухим остатком равным или меньшим 1 мг/кг.

В связи с тем, что основными коррозионно-агрессивными элементами в воде являются кислород и хлор, вода, идущая на заполнение I контура должна не иметь свободного кислорода и хлора.

Изотопы этих элементов, особенно в свободном состоянии, как коррозионно наиболее агрессивны, не должны появляться в I контуре и даже при взаимодействии других элементов с нейтронами любых энергий в диапазоне

0,025 эВ – 18 МэВ.

Более подробно остановимся на анализе появления свободного кислорода в I контуре, который связан в молекуле воды.

Активная зона водо-водяного энергетического реактора является мощным нейтронным полем с энергией нейтронов от тепловых энергий (минимум 0,005 эВ) и до 18 МэВ (максимум нейтронов деления) и мощным полем γ -квантов с энергией от 1 до 7 МэВ. Энергия связи молекулы воды составляет примерно 3 эВ.

Гамма кванты с указанной энергией в результате фотоэффекта, комптоновского рассеяния и образования пар генерируют электроны с энергиями, которые разрушают молекулу воды на ее составляющие.

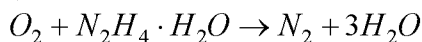
Нейтроны деления и замедляющиеся в результате упругого столкновения с ядрами водорода и кислорода в молекуле воды также разрушают ее на составляющие.

В этом случае наиболее опасным для коррозионных процессов является молекулярный и атомарный кислород.

Таким образом, даже если заполнить I контур водой, в которой нет растворенного кислорода, в процессе работы реактора он появляется в свободном виде и в значительных количествах.

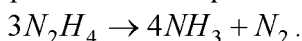
Чтобы исключить влияние этого кислорода на коррозионные процессы в I контур заранее при заполнении его водой добавляют гидразин-гидрат $N_2H_4 \cdot H_2O$ [3].

Это химическое соединение связывает появляющийся в свободном состоянии кислород по реакции



При поддержании некоторого избытка гидразин-гидрата и достаточной выдержке достигается удаление кислорода без повышения содержания воды.

При высокой температуре избыток гидразина разлагается с образованием аммиака:



Образовавшийся азот вступает в реакцию с образовавшимся при разрушении молекулы воды водородом и генерируют молекулу аммиака NH_3 . Количество аммиака в контуре ВВЭР поддерживается на уровне 3-20 мг/кг [3].

Последний, соединяясь с водой, дает соединение NH_4OH , которое способствует незначительному повышению pH, при котором минимизируется процесс коррозии.

Таким образом в I контуре появился при-

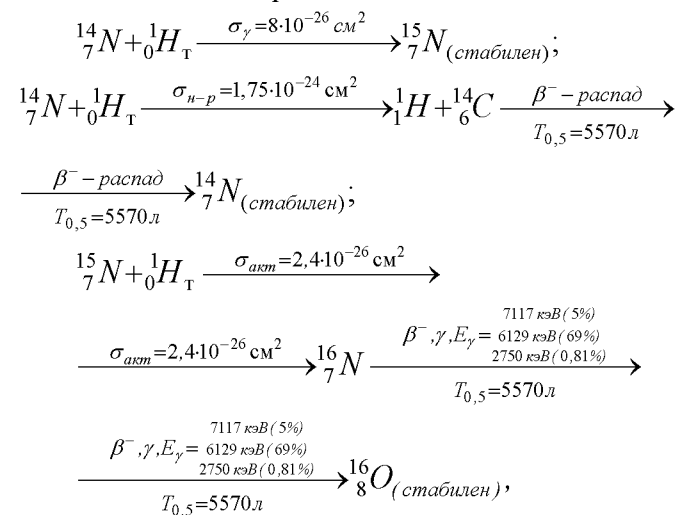
родный азот, состоящий из $^{14}_7N$ (99,63%) и $^{15}_7N$ (0,37%).

Целью настоящей статьи является физическое и математическое моделирование процессов поведения изотопов природного азота в активной зоне под действием существующего в ней нейтронного поля.

Физические и математические модели.

Нейтронное поле в активной зоне состоит из нейтронов деления N_d , из замедляющихся нейтронов $N_{зам}$, тепловых нейтронов N_t , резонансных нейтронов $N_{рез}$. Нейтроны конкретной энергии будем обозначать N_{Ei} .

Разработанные схемы физических моделей взаимодействий ядер изотопов природного азота с тепловыми нейтронами имеют вид:



где: σ_γ - микроскопическое эффективное сечение захвата нейтрона;

$\sigma_{акт}$ - микроскопическое эффективное сечение захвата активации;

$T_{0,5}$ - период полураспада;

E_γ - энергия γ -кванта на распад;

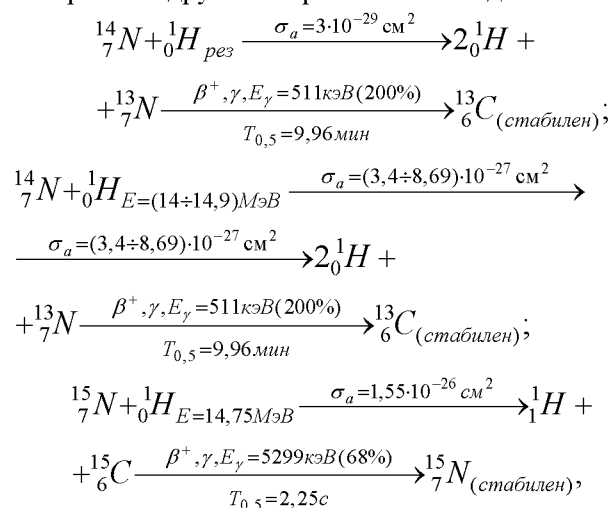
β^- - отрицательно заряженная частица (электрон);

σ_{n-p} - микроскопическое эффективное сечение захвата нейтрона и дающее протон;

В результате реакций появляется в теплоносители свободный кислород $^{16}_8O$ и радиоак-

тивный углерод.

Химический элемент углерод является основной составляющей всей биосферы. В теле стандартного человека (70 кг) углерода содержится 18% по массе [5]. В природном углероде ^{14}C составляет $2 \cdot 10^{-10}\%$. Исключительно важно, чтобы любой источник ^{14}C не увеличивал его содержание в природе. Увеличенное содержание в природе ^{14}C приведет к увеличению содержания ^{14}C в биосфере, что по пищевым цепям приведет к увеличенному содержанию радиоуглерода и в теле человека. Увеличение содержания ^{14}C в теле человека ведет к увеличению мутаций соматического и генетического характера в человеческом роде. Разработанные схемы физических моделей взаимодействия ядер природных изотопов азота с нейтронами других энергий имеют вид:



где: σ_a - микроскопическое эффективное сечение поглощения нейтрона ядром.

Физические модели взаимодействия ядер с нейтронами дают качественную картину изотопно-элементного состава при трансформации исходных ядер. Математические модели дают количественную картину трансформации этих ядер. Разработанные математические модели трансформации ядер природных изотопов N под действием тепловых нейтронов имеют вид:

$$\begin{aligned}
 \frac{dN_{N-14}}{dt} &= -\sigma_\gamma^{N-14} \cdot N_{N-14} \cdot \varphi_{\text{т.н}} - \\
 &- \sigma_{n-p}^{N-14} \cdot N_{N-14} \cdot \varphi_{\text{т.н}}; \\
 \frac{dN_{N-15}}{dt} &= +\sigma_\gamma^{N-14} \cdot N_{N-14} \cdot \varphi_{\text{т.н}} - \\
 &- \sigma_\gamma^{N-15} \cdot N_{N-15} \cdot \varphi_{\text{т.н}};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{dN_{N-16}}{dt} &= +\sigma_\gamma^{N-15} \cdot N_{N-15} \cdot \varphi_{\text{т.н}} - \\
 &- \sigma_\gamma^{N-16} \cdot N_{N-16} \cdot \varphi_{\text{т.н}} - \lambda_{N-16} \cdot N_{N-16};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{dN_{H-1}}{dt} &= +\sigma_{n-p}^{N-15} \cdot N_{N-14} \cdot \varphi_{\text{т.н}} - \\
 &- \sigma_\gamma^{H-1} \cdot N_{H-1} \cdot \varphi_{\text{т.н}};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{dN_{C-14}}{dt} &= +\sigma_{n-p}^{N-14} \cdot N_{N-14} \cdot \varphi_{\text{т.н}} - \\
 &- \sigma_\gamma^{C-14} \cdot N_{C-14} \cdot \varphi_{\text{т.н}} - \lambda_{C-14} \cdot N_{C-14};
 \end{aligned}$$

$$\frac{dN_{O-16}}{dt} = \lambda_{N-16} \cdot N_{N-16} - \sigma_\gamma^{O-16} \cdot N_{O-16} \times \varphi_{\text{т.н}},$$

где: $\frac{dN_{Ni}}{dt}$ - скорость изменения числа -х ядер за 1 с.

Образовавшийся по представленным реакциям $^{16}_8\text{O}$ вступает в реакцию с гидразин-гидратом и в коррозионных процессах не участвует. Образовавшийся $^{14}_6\text{C}$ вступает в реакцию с кислородом, образуя в контуре CO_2 , а образовавшийся водород в реакции с азотом дает NH_3 . Образовавшиеся быстро распадающиеся радионуклиды N-16 и C-15 распадаясь, генерируют высокоэнергетические, следовательно, сильно проникающие γ -кванты, учитывать которые необходимо при разработке конструкции биологической защиты трубопроводов I контура. Разработанные математические модели под действием нейтронов других энергий, кроме тепловых, имеют вид:

$$\begin{aligned}
 \frac{dN_{N-14}}{dt} &= -\sigma_{\text{апрез}}^{N-14} \cdot N_{N-14} \cdot \varphi_{\text{рез}} - \\
 &- \sigma_{a,E=(14 \div 14,8)}^{N-14} \cdot N_{N-14} \cdot \varphi_{E=(14 \div 14,8)};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{dN_{N-13}}{dt} &= +\sigma_{\text{апрез}}^{N-14} \cdot N_{N-14} \cdot \varphi_{\text{рез}} + \sigma_{a,E=(14 \div 14,8)}^{N-14} \times \\
 &\times N_{N-14} \cdot \varphi_{E=(14 \div 14,8)} - \sigma_a^{N-13} \cdot N_{N-13} \times \\
 &\times \int_{0,005 \text{ эВ}}^{18 \text{ МэВ}} \varphi(E) dE - (\lambda_{N-13} \cdot N_{N-13})_{^1_0\text{H}_{\text{рез}}} - \\
 &- (\lambda_{N-13} \cdot N_{N-13})_{E=(14 \div 14,8)};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{dN_{N-15}}{dt} &= -\sigma_{aE14,75}^{N-15} \cdot N_{N-15} \cdot \varphi_{E14,75} + \\
 &+ \lambda_{C-15} \cdot N_{C-15};
 \end{aligned}$$

$$\frac{dN_{C-15}}{dt} = +\sigma_{aE14,75}^{N-15} \cdot N_{N-15} \cdot \varphi_{E14,75} - \sigma_a^{C-15} \times$$

$$\times N_{C-15} \int_{0,005 \text{ эВ}}^{18 \text{ МэВ}} \varphi(E) dE - \lambda_{C-15} \cdot N_{C-15};$$

$$\frac{dN_{C-13}}{dt} = +(\lambda_{N-13} \cdot N_{N-13})_{\text{H}_{\text{рез}}} +$$

$$+ (\lambda_{N-13} \cdot N_{N-13})_{E=(14+14,8)},$$

где: $\int_{0,005 \text{ эВ}}^{18 \text{ МэВ}} \varphi(E) dE$ – плотность потока всех нейтронов от $E=0,005$ эВ до $E=18$ МэВ.

Решая каждую систему уравнений отдельно, получим $N_{N-14}(t)$ из I и II системы

$$\sum N_{N-14}(t) = N_{N-14}^I(t) + N_{N-14}^{II}(t)$$

Аналогично для

$$N_{N-15}(t) = \sum N_{N-15}(t)$$

В связи с тем, что образующиеся жесткие γ -кванты, от которых требуется защита, пропорциональны числу ядер, их генерирующих, рассмотренные в статье вопросы физического и математического моделирования нейтронно-ядерных процессов в активной зоне и I контуре направлены на решение вопросов безопасности ядерной энергетики.

Заключение

Разработанные физические и математические модели трансформации природных изотопов азота в нейтронном поле активной зоны ВВЭР могут быть использованы для решения вопросов ядерной безопасности в области конструкций биологической защиты активной зоны и трубопроводов I контура от жестких высокоэнергетических γ -квантов.

Список литературы

1. Овчинников Ф.Я. Эксплуатационные режимы водо-водяных энергетических реакторов/ Ф.Я. Овчинников, Л.И. Голубев, В.Д. Добрынин, В.И. Клочков, В.В. Семенов, В.М. Цыбенко. – М.: Атомиздат, 1977. – 280 с.
2. Романов Д.Ф. Судовые ядерные паропроизводящие установки/ Д.Ф. Романов, М.А. Лебедев, С.С. Саваренский, Н.П. Шаманов. – Л.: Судостроение, 1967. – 403 с.
3. Марнис И.В. Справочные таблицы для нейтронно-активационного анализа Академии наук Латвийской ССР, – Рига: Зинатис, 1974. – 412 с.
4. Гордеев И.В. Справочник по ядерно-

физическим константам для расчета реакторов/ И.В. Гордеев, Д.А. Кардашов, А.В. Малышев. – М.: Госкомитет СМ СССР по использованию АЭ, 1960. – 278 с.

5. Закутинский Д.И. Справочник по токсикологии радиоактивных изотопов/ Д.И. Закутинский, Ю.Д. Парфенов, Л.Н. Селиванов. – М.: мед. лит., 1962. 116 с.

References

1. Ovchinnikov F. Ya., Golubev L. I., Dobryinin D. V., Klochkov V. I., Semenov V. V., Tsyibenko M. V. *Ekspluatatsionnyie rezhimy vodo-vodyanyih energeticheskikh reaktorov* [Operating conditions LWR]. – Moscow: atom publ., 1977. – 280 p.
2. Romanov D.F., Lebedev M.A., Savarenskiy S.S., Shamanov N.P. *Sudovyye yadernyye paroproizvod-yaschie ustanovki* [Ship's nuclear steam supply installation]. – Leningrad: shipbuilding publ., 1967. – 403 p.
3. Mednis I.V. *Spravochnyie tablitsyi dlya neytron-no-aktivatsionnogo analiza* [Reference tables for neutron-activation analysis]. – Riga: Zinatis publ., 1974. – 412 p.
4. Gordeev I.V., Kardashov D.A., Malyishev A.V. *Spravochnik po yaderno-fizicheskim konstantam dlya rascheta reaktorov* [Handbook of nuclear physics constants for reactor calculations]. – Moscow: State Committee of the USSR on the use of the NP, 1960. – 278 p.
5. Zakutinskiy D.I., Parfenov Yu.D., Selivanov L.N., *Spravochnik po toksikologii radioaktivnyih izotopov* [Handbook of Toxicology of radioactive isotopes]. – Moscow: Gosizdat med.lit., 1962. 116 p.

УДК 539.1

К вопросу разработки физических и математических моделей трансформации природного изотопного состава К в активной зоне водо-водяного энергетического реактора

П.В. Матюхина¹, П.А. Пономаренко², М.А. Фролова³ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, ¹pollina.matyukhina@mail.ru

Статья поступила 17.01.2017 г.; после доработки 20.01.2017 г.

Аннотация

Рассматривается путь попадания К в первый контур теплоносителя-замедлителя ВВЭР, трансформация ядер природных изотопов К в результате воздействия на них нейтронного поля. Разработаны физические и математические модели трансформации природных изотопов К в нейтронном поле активной зоны ВВЭР.

Ключевые слова: активная зона, калий, нейтроны деления, тепловые нейтроны, нейтронами реакторного спектра, нейтроны резонансных энергий

It is to the Question About Physical and Mathematical Models of Transformation of Natural Isotopia Composition K in the Active Zone of Water Power Reactor

P.V. Matyuhina¹, P.A. Ponamorenko², M.A. Frolova³Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, ¹pollina.matyukhina@mail.ru

Received 17.01.2017 y.; received in final form 20.01.2017 y.

Abstract

It is considered the way of entry "K" to the first circuit of the coolant LWR - 1000, the transformation of nuclears natural isotopes "K" in the result of the exposure to a neutron field. Physical and mathematical models of the transformation natural isotopes "K" are developed in the neutron field of an active zone LWR - 1000.

Keywords: core, potassium, fission neutrons, thermal neutrons, neutron reactor spectrum, neutron resonance energies

Введение

Первая в мире АЭС электрической мощностью 5000 кВт была пущена в июне 1954 г. в г. Обнинске Калужской обл. Первая АЭС в США была пущена в декабре 1957 [1].

В настоящее время АЭС работают в 31 стране, и в 2015 г. ими было выработано 2,441 т кВт час энергии. Атомная энергетика привлекает исключительной энергоемкостью (1 кг ядерного топлива $8,2 \cdot 10^7$ МДж/кг), отсутствии выбросов CO_2 , как главного фактора «парникового» эффекта, выбросов окислов серы и азота – основ-

ных закислителей почвы через атмосферные осадки и др. Так, например, за последние 60 лет из-за незначительности «парникового» эффекта и таяния ледников в связи с этим уровень мирового океана поднялся примерно на 15 см. А если станут все ледники - уровень мирового океана поднимется на 67 м [2]. Кроме этого атомная энергетика, несмотря на аварии на Чернобыльской АЭС и на АЭС Фукусима, где основной причиной аварии показал себя человеческий фактор, стала значительно безопасней.

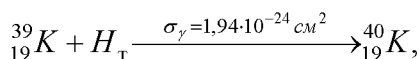
Одной из технологических мер повышения ядерной безопасности водо-водяного энергетиче-

ского реактора, является введение в I контур раствора серной кислоты H_2SO_4 [3]. Но в этом случае увеличивается кислотность среды I контура и, следовательно, увеличивается коррозия в I контуре, растет устойчивая удельная активность I контура. С целью нейтрализации кислотности I контура в него вводят щелочь KOH . Таким образом решается вопрос снижения коррозии и устойчивой удельной активности продуктов коррозии в I контуре. Но в I контуре появился элемент К, состоящий в природе из $^{39}_{19}K$ (93,08%) – стабильного, из $^{40}_{19}K$ (0,012%) – радиоактивного (период полураспада $1,3 \cdot 10^9$ лет) и $^{41}_{19}K$ (6,76%) – стабильного [4].

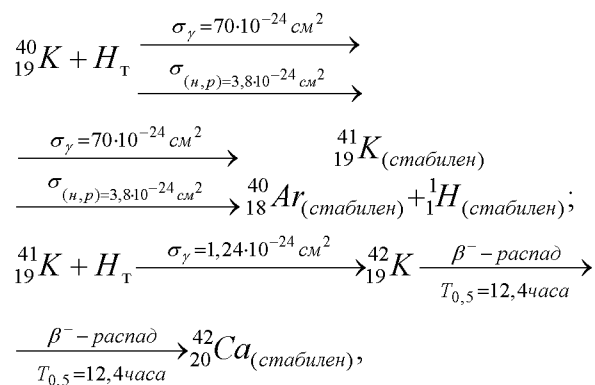
В I контуре ВВЭР-1000 концентрация К составляет 2-12 мг/кг теплоносителя [3]. Этот К_x проходит вместе с теплоносителем через активную зону, в которой, в период работы реактора, имеет место сильное нейтронное поле нейтронов деления со средней энергией нейтронов 2 МэВ и сильное нейтронное поле тепловых нейтронов с энергией 0,025 эВ. Ядра указанных изотопов К взаимодействуют с нейтронами деления и тепловыми [4,5]. В результате этих реакций происходит трансформация ядер природных изотопов К, изменяется их число, появляются ядра изотопов других элементов.

Целью настоящей статьи является разработка физических и математических моделей трансформации природных изотопов К в нейтронном поле активной зоны ВВЭР-1000.

Разработанные схемы физических моделей взаимодействия ядер природных изотопов К с нейтронами тепловых энергий H_T имеют вид:



где: σ_γ – микроскопическое эффективное сечение радиационного захвата (поглощается нейтрон генерируется γ -квант).



где: $^{42}_{19}K$ претерпевает β^- -распад с периодом

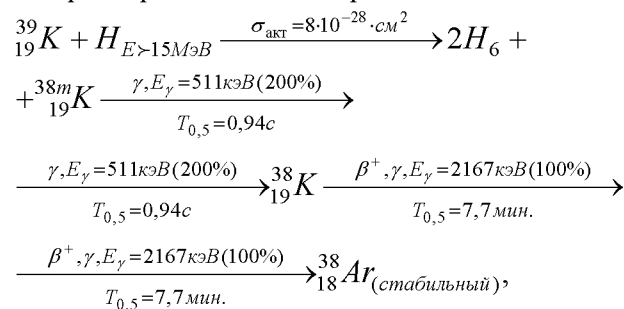
полураспада $T_{0,5}=12,4$ часа, превращаясь в стабильный $^{42}_{20}Ca$ [3]. Т.о. в контуре появились новые изотопы элементов: 1_1H , $^{40}_{18}Ar$, $^{42}_{20}Ca$.

Разработанные схемы физических моделей взаимодействия ядер природных изотопов К с нейтронами деления представлены ниже [5,6].

Замечание. Нейтронами деления называются нейтроны, возникающие при делении ядра $^{235}_{92}U$ под действием тепловых нейтронов.

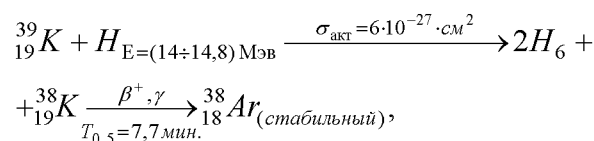
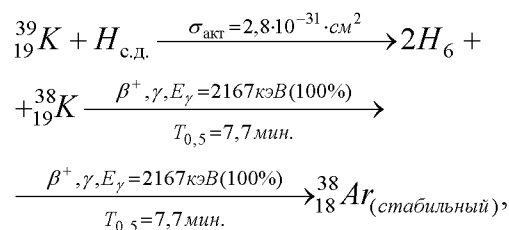
Энергия нейтронов деления находится в диапазоне (0,5-18) МэВ и определяется спектром деления, по которому средняя энергия нейтрона деления равна 2 МэВ, а наиболее вероятная 0,7 МэВ [7].

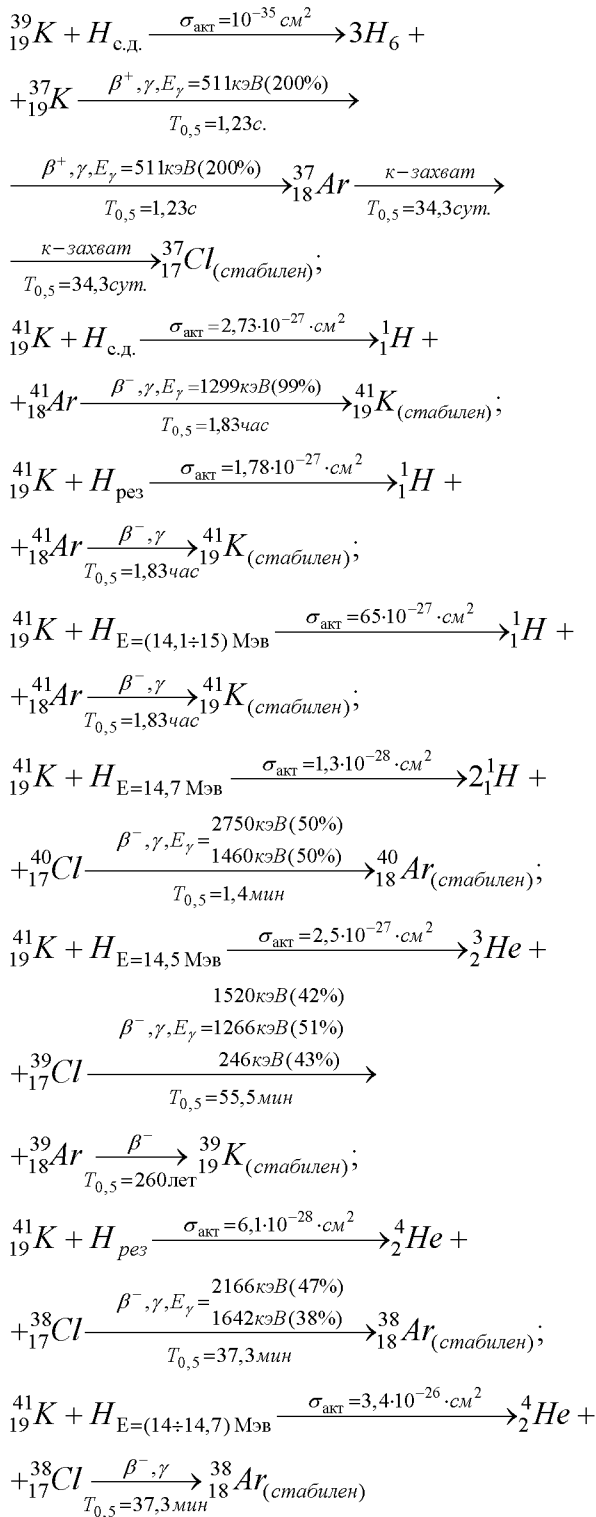
Нейтроны деления, попадая в замедлитель-теплоноситель (H_2O), снижают свою энергию до тепловой 0,025 эВ. Следовательно, в активной зоне реактора имеются нейтроны в диапазоне энергий 0,025 эВ -18МэВ. Эти нейтроны называются нейтронами реакторного спектра $H_{рс}$, а нейтроны любой другой энергии из реакторного спектра обозначаются $H_{E>14 \text{ МэВ}}$, $H_{E>рез.}$ – это нейтроны резонансных энергий.



где: $^{38m}_{19}K$ – ядро, испытывающее изомерный переход и испускающее на 1 распад 2 γ -кванта с энергией $E_\gamma=511$ кэВ;

$^{38}_{19}K$ ядро, испускающее позитрон (β^+) и один γ -квант с $E_\gamma=2167$ кэВ.





В связи с тем, что микроскопические эффективные сечения активации $\sigma_{\text{акт}}$ быстрыми и резонансными нейтронами на 2 и более порядков меньше сечений на тепловых нейтронах, образование радионуклидов и газов водорода ${}^1_1\text{H}$, гелия ${}^3_2\text{He}$ и ${}^4_2\text{He}$ под действием нейтронов деления далее рассматривать не будем.

По схемам физических моделей трансфор-

мации ядер природных изотопов К под действием тепловых нейтронов представлены разработанные математические модели указанных реакций, которые дают количественную картину изотопного состава К в теплоносителе ВВЭР – 1000, отличную от природного, и других ранее отсутствующих элементов.

$$\frac{dN_{K-39}}{dt} = -\sigma_{\gamma}^{K-39} \cdot N_{K-39} \cdot \varphi_{\text{т.н}};$$

$$\begin{aligned} \frac{dN_{K-40}}{dt} = & +\sigma_{\gamma}^{K-39} \cdot N_{K-39} \cdot \varphi_{\text{т.н}} - \\ & -\sigma_{\gamma}^{K-40} \cdot N_{K-40} \cdot \varphi_{\text{т.н}} - \lambda_{K-40} \cdot N_{K-40} - \\ & -\sigma_{n-p}^{K-40} \cdot N_{K-40} \cdot \varphi_{\text{т.н}}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dN_{K-41}}{dt} = & -\sigma_{\gamma}^{K-41} \cdot N_{K-41} \cdot \varphi_{\text{т.н}} + \\ & +\sigma_{\gamma}^{K-40} \cdot N_{K-40} \cdot \varphi_{\text{т.н}}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dN_{K-42}}{dt} = & +\sigma_{\gamma}^{K-41} \cdot N_{K-41} \cdot \varphi_{\text{т.н}} - \\ & -\sigma_{\gamma}^{K-42} \cdot N_{K-42} \cdot \varphi_{\text{т.н}} - \lambda_{K-42} \cdot N_{K-42}; \end{aligned}$$

где: $\frac{dN_i}{dt}$ – скорость изменения числа ядер i-го

изотопа природного К под действием тепловых нейтронов и радиоактивного распада этих ядер.

$\sigma_{\gamma}^i \cdot N_i \cdot \varphi_{\text{т.н}}$ – скорость «расстрела» ядер

i-го изотопа под действием тепловых нейтронов;

$\lambda_i \cdot N_i$ – скорость радиоактивного распада ядер i-го изотопа К;

$\sigma_{n-p}^{K-40} \cdot N_{K-40} \cdot \varphi_{\text{т.н}}$ – скорость убыли ядер К-40 за счет реакции «поглощение теплового нейтрона и генерация ядра ${}^1_1\text{H}$ и ядра ${}^{40}_{18}\text{Ar}$.

Решение этой системы уравнений совместно даст изменение концентраций ядер К-39, К-40, К-41 и К-42 в 1 см³ теплоносителя.

$$N_{K-39(t_{\text{раб}})}, N_{K-40(t_{\text{раб}})}, N_{K-41(t_{\text{раб}})}, N_{K-42(t_{\text{раб}})},$$

за время работы реактора на различных мощностях ($\varphi_{\text{т.н.}}$ пропорционально мощности реактора [8]), если бы теплоноситель и изотопы К в нем постоянно в течение всей работы реактора находились в активной зоне. Но теплоноситель и растворенные в нем изотопы К облучаются тепловыми нейтронами только тогда, когда находятся в активной зоне, а когда теплоноситель находится в

трубах, соединяющих реактор с парогенератором, и в самом парогенераторе изменение числа ядер изотопов К под действием тепловых нейтронов не происходит. В это время в принципе изменяется число ядер только радиоактивных изотопов К-40 и К-42 через их радиоактивный распад. Разработка математической модели изменения

$$N_{K-39(t_{\text{пab}})}, N_{K-40(t_{\text{пab}})}, N_{K-41(t_{\text{пab}})}, N_{K-42(t_{\text{пab}})},$$

в 1 см³ теплоносителя с учетом указанной особенности представляет собой совершенно отдельный самостоятельный вопрос.

Если же необходимо знать концентрацию в теплоносителе числа ядер Са-42, Аг-40 и Н-1 представленную систему дифференциальных уравнений необходимо дополнить следующими уравнениями.

$$\frac{dN_{Ca-42}}{dt} = \lambda_{K-42} \cdot N_{K-42} - \sigma_{\gamma}^{Ca-42} \cdot N_{Ca-42} \cdot \varphi_T;$$

$$\frac{dN_{Ar-40}}{dt} = \sigma_{n-p}^{K-40} \cdot N_{K-40} \cdot \varphi_T - \sigma_{\gamma}^{Ar-40} \cdot N_{Ar-40} \times$$

$$\times \varphi_T;$$

$$\frac{dN_{H-1}}{dt} = \sigma_{n-p}^{K-40} \cdot N_{K-40} \cdot \varphi_T + \sigma_{\gamma}^{H-1} \cdot N_{H-1} \cdot \varphi_T$$

Решая совместно все 7 уравнений получим концентрацию ядер

$$N_{K-39(t_{\text{пab}})}, N_{K-40(t_{\text{пab}})}, N_{K-41(t_{\text{пab}})},$$

$N_{K-42(t_{\text{пab}})}, N_{Ca-42(t_{\text{пab}})}, N_{Ar-40(t_{\text{пab}})}, N_{H-1(t_{\text{пab}})}$ при условии их постоянной генерации во всем I контуре.

Список литературы

1. Емельянов В.С. Атом шагает по странам – М.:Знание, 1966. – 144 с.
2. Дериголец В. Ф. Мир воды – Л.: Недра, 1970. – 253 с.
3. Овчинников Ф.Я. Эксплуатационные режимы водо-водяных энергетических реакторов/ Ф.Я. Овчинников, Л.И. Голубев, В.Д. Добрынин, В.И. Клочков, В.В. Семенов, В.М. Цыбенко. – М.: Атомиздат, 1977. – 280 с.
4. Гордеев И.В. Справочник по ядерно-физическим константам для расчета реакторов/ И.В. Гордеев, Д.А. Кардашов, А.В. Малышев. – М.: Госкомитет СМ СССР по использованию АЭ, 1960. – 278 с.
5. Меднис И.В. Справочные таблицы для нейтронно-активационного анализа Академии наук Латвийской ССР, – Рига: Зинатис, 1974. – 412 с.
6. Справочник по ядерной физике: пер. с англ; под ред. Л.А.Арцимовича – М.: Гос. Издат. физико-математической литературы, 1963. – 632 с.
7. Мегреблиан Р.В. Теория реакторов/ Р.В.

Мегреблиан, Д.К. Холмс – М.: Гос. Изд-во литературы в области атомной науки и техники, 1962. – 590 с.

8. Алешин В.С. Судовые ядерные реакторы/ В.С. Алешин, Н.М. Кузнецов, А.А. Саркисов – Л.: Судостроение, 1968. – 490 с.

References

1. Emelyanov V.S. *Atom shagaet po stranam* [Atom is sweeping the country]. – Moscow: Knowledge, 1966. – 144 p.
2. Derigolets V. F. *Mir vodyi* [water world]. – Leningrad: bosom, 1970. – 253 p.
3. Ovchinnikov F. Ya., Golubev L. I., Dobryinin D. V., Klochkov V. I., Semenov V. V., Tsyibenko M. V. *Ekspluatatsionnyie rezhimyi vodo-vodyanyih energeticheskikh reaktorov* [Operating conditions LWR]. – Moscow: atom publ., 1977. – 280 p.
4. Gordeev I.V., Kardashov D.A., Malyishev A.V. *Spravochnik po yaderno-fizicheskim konstantam dlya rascheta reaktorov* [Handbook of nuclear physics constants for reactor calculations]. – Moscow: State Committee of the USSR on the use of the NP, 1960. – 278 p.
5. Mednis I.V. *Spravochnye tablitsyi dlya neytron-no-aktivatsionnogo analiza* [Reference tables for neutron-activation analysis]. – Riga: Zinatis publ., 1974. – 412 p.
6. *Spravochnik po yadernoy fizike* [Handbook of Nuclear Physics]. Edit L.A.Artsimovicha – Moscow: Gosizdat phys. Mat.lit. 1963. – 632 p.
7. Megreblan R.V., Holms D.K. *Teoriya reaktorov* – [Theory reactors]. – Moscow: Gosizdat field of nuclear science and technology lit., 1962. – 590 p.
8. Aleshin V.S., Kuznetsov N.M., Sarkisov A.A. *Sudovyye yadernyye reaktoryi* [Ship nuclear reactors]. – Leningrad, 1968. – 490 p.

УДК 574.586:628.193:665.61 (262.5)

Углеводородно-липидный состав макрофитов в прибрежной акватории севастополя

О.Г. Миронов¹, О.А. Миронов², И.П. Муравьева³, А.И. Острцова⁴

¹ФГБУН Институт Морских Биологических Исследований им. А.О. Ковалевского РАН (ИМБИ РАН) г. Севастополь, Российская Федерация, e-mail: mironov87@gmail.com, ⁴ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» ул. Курчатова 7, г. Севастополь, 299015, Российская Федерация, e-mail: photoostr@mail.ru

Статья поступила 30.01.2017 г.; после доработки 31.01.2017 г.

Аннотация

Получены новые данные по содержанию углеводов и липидов в массовых водорослях-макрофитах, обитающих в прибрежных водах Севастополя. Отмечена корреляционная связь между содержанием липидов и нефтяных углеводов. Поскольку водоросли-макрофиты составляют основную массу штормовых выбросов, они способствуют выносу нефтяных углеводов на берег. Полученные данные помогут оценить влияние нефтяных углеводов на подводную растительность прибрежных акваторий Черного моря при аварийных нефтяных разливах.

Показано, что в 25 видах водорослей, отмечена тенденция повышения содержания липидов и углеводов в отдельные сезоны года в выбросах из Нефтегавани и бухты Артиллерийской по сравнению с бухтой Казачьей.

Ключевые слова: водоросли-макрофиты, углеводороды, липиды, прибрежные акватории, нефтяное загрязнение.

Hydrocarbon-lipid composition of macrophytes in the coastal waters of sebastopol

Mironov O.G.¹, O.A. Mironov², I.P. Muraviev³, A.I. Ostretsov⁴

¹FSBI Institute of Marine Biological Studies. A. O. Kovalevsky Russian Academy of Sciences (RAS IMBI) Sevastopol, Russian Federation, e-mail: mironov87@gmail.com, ⁴FGAOU IN «Sevastopol National Technical University» st. Kurchatov 7, Sevastopol, 299015, Russia, e-mail: photoostr@mail.ru

Received 30.01.2017 y.; received in final form 31.01.2017 y.

Abstract

The New data, concerning the content of hydrocarbons and lipids in the seaweed-macrophytes, which live in coastal waters of Sevastopol are obtained. Correlation between the content of lipids and petroleum hydrocarbons was noted. As seaweed-makrofity make the bulk of storm emissions, they promote carrying out of oil hydrocarbons on the seashore. The data obtained will help to estimate influence of oil hydrocarbons on underwater vegetation of inshore waters of the Black Sea in case of emergency oil spills.

In emissions from Neftegavani and Artillery bay in comparison with a Cossack bay, It is shown that in 25 species of seaweed, there was the tendency of increase in the content of lipids and hydrocarbons in different seasons of the year.

Keywords: seaweed-macrophytes, hydrocarbons, lipids, coastal waters, oil pollution.

Введение

Углеводороды в обозримом будущем останутся одним из основных источников энергии. Разведка и добыча их на шельфе возрастает, что неизбежно приводит к загрязнению окружаю-

щей среды. Однако благодаря принимаемым мерам уровень нефтяного загрязнения морской воды значительно снизился и в некоторых акваториях находится в пределах узаконенных предельно-допустимых концентраций [1]. В этой

связи возрастает роль морской биоты в переносе нефти за счет накопления морскими организмами нефтяных углеводородов [2].

На этот процесс влияет уровень содержания в гидробионтах липидов. Органы и ткани богатые липидами накапливают большее количество нефтяных углеводородов, образуя липидно-углеводородный комплекс. Последнее диктует необходимость при изучении взаимодействия морских организмов с нефтяным загрязнением уделять большее внимание этому химическому соединению.

В предыдущих работах были получены данные по накоплению нефтяных углеводородов морскими животными, в частности, обитающих на подводной растительности [3]. Меньшее внимание было уделено самим подводным растениям. В этой связи целью работы было изучение углеводородно-липидного состава морской подводной растительности у берегов юго-западной оконечности Крымского полуострова. Одним из основных источников попадания нефтепродуктов в прибрежные воды Севастополя являются ливневые и талые воды, смывающие загрязнение с территории города [4]. При этом вносится в море большое количество органических веществ, которые влияют на процессы трансформации нефти в морской среде. Внесение со стоками соединений азота и фосфора способствуют бактериальному окислению нефтяных углеводородов. В то же время наличие легкой органики может привести к переориентировке ферментативной системы нефтеокисляющих микроорганизмов на потребление более доступных источников углерода и энергии.

Материал и методы

Схема расположения станций отбора проб макрофитов в прибрежной акватории Севастополя представлена на рис. 1

Одним из основных источников попадания нефтепродуктов в прибрежные воды Севастополя являются ливневые и талые воды, смывающие загрязнение с территории города [4]. При этом вносится в море большое количество органических веществ, которые влияют на процессы трансформации нефти в морской среде.

Внесение со стоками соединений азота и фосфора способствуют бактериальному окислению нефтяных углеводородов.

В то же время наличие легкой органики может привести к переориентировке ферментативной системы нефтеокисляющих микроорганизмов на потребление более доступных источников уг-

лерода и энергии.



Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб в прибрежной акватории Севастополя.

Липиды и углеводороды имеют сходные химические свойства, вместе экстрагируются из пробы и обычно достаточно тесно коррелируют друг с другом. Экстракцию этих соединений проводили смесью хлороформ – этанол (2:1), липиды определяли по цветной реакции с фосфованилиновым реактивом, углеводороды модифицированным методом тонкослойной хроматографии с последующим денситометрированием, нефтяные углеводороды методом ИК – спектрометрии.

Поскольку объектом настоящей работы является подводная растительность, мы посчитали целесообразным дать в ряде акваторий общую характеристику распространения водорослей, где проводился анализ их углеводородно-липидного состава.

Всего в обрастаниях причалов Нефтегавани и бухт Артиллерийской и Казачьей определено 25 видов водорослей: из них 11 – зелёных, 12 – красных и 2 – бурых. При этом по отношению к сапробности они распределялись следующим образом (рис. 2).



Рис. 2. Распределение водорослей по отношению к органическому загрязнению (а – б. Казачья, б – Нефтегавань, в – б. Артиллерийская).

Представленные материалы свидетель-

ствуют о том, что помимо нефтяного загрязнения, о чем говорилось ранее [1], акватории различаются по уровню общего количества органических веществ в морской воде. Наибольшее количество органики по данным биологического анализа фиксируется в б. Артиллерийской.

Здесь не обнаружены водоросли олигосапробной группы – показатели слабой загрязненности морской воды легкой органикой. По этому же показателю Нефтегавань и бухта Казачья близки между собой.

Как указывалось ранее, липидная составляющая в сумме органических веществ водорослей меньше, чем например, другие основные классы органических – углеводы и белки [5]. В наших объектах исследования мы наблюдали аналогичную картину, в частности на примере *U. Rigida* (рис. 3)



Рис. 3. Содержание основных классов органических веществ в *U. Rigida* из различных акваторий (а – Нефтегавань, б – б. Казачья, в – б. Артиллерийская).

Сезонную динамику содержания общих липидов исследовали на примере массовых видов: *Ulva rigida*, *Enteromorpha intestinalis* – зелёные, *Callithamnion corymbosum*, *Ceramium rubrum auctorum* – красные (таблица 1).

В *Ulva rigida* из Нефтегавани и б. Артиллерийской количество липидов минимально осенью и максимально зимой, а из б. Казачьей величина липидов изменяется от минимальной летом до максимальной весной.

В период этих исследований зелёная водоросль *Enteromorpha intestinalis* присутствовала только в пробах из Нефтегавани и б. Казачьей. Минимальный уровень липидов энтероморфы из обеих бухт отмечен летом, а максимальный зимой.

В *Callithamnion corymbosum* из трёх бухт минимальное значение липидов наблюдалось летом, при этом, в водорослях из Нефтегавани и б. Артиллерийской их было больше, чем из б. Казачьей. Максимум этих соединений отмечен осенью из Нефтегавани и весной из бухт Артиллерийской и Казачьей.

В *Ceramium rubrum auctorum* из трёх бухт

максимальное количество липидов отмечено весной. Минимальное зимой из Нефтегавани, в летне - весенний период из б. Артиллерийской и летом из б. Казачьей. Значительные различия в содержании липидов в водоросли из трёх бухт обнаружены в летний период, когда из б. Казачьей их было в 3 раза меньше, чем из Нефтегавани и б. Артиллерийской.

Таблица 1. Сезонная динамика содержания общих липидов (мг/100 мг) сухой массы в макрофитах их трех акваторий Севастополя

Нефтегавань				
	лето	осень	зима	весна
<i>Ulva rigida</i>	1,76 + 0,49	1,38 + 0,43	3,81 + 0,34	2,33 + 0,32
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	2,29 + 0,29	3,89 + 0,65	4,21 + 0,40	2,82 + 0,88
<i>Callithamnion corymbosum</i>	2,86 + 0,88	5,58 + 0,98	4,06 + 1,00	4,44 + 0,34
<i>Ceramium rubrum auctorum</i>	2,86 + 0,88	2,55 + 0,50	2,05 + 0,27	3,99 + 0,86
б. Артиллерийская				
	лето	осень	зима	весна
<i>Ulva rigida</i>	2,05 + 0,99	1,90 + 0,30	3,09 + 0,67	2,98 + 0,29
<i>Callithamnion corymbosum</i>	2,60 + 0,72	4,11 + 0,90	3,81 + 0,68	5,56 + 0,18
<i>Ceramium rubrum auctorum</i>	2,56 + 0,06	2,56 + 0,21	3,33 + 0,29	3,70 + 0,86
б. Казачья				
	лето	осень	зима	весна
<i>Ulva rigida</i>	1,10 + 0,01	1,69 + 0,09	2,07 + 0,17	2,13 + 0,07
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	1,55 + 0,11	2,87 + 0,39	3,30 + 0,23	1,76 + 0,08
<i>Callithamnion corymbosum</i>	1,68 + 0,22	3,94 + 0,74	3,93 + 0,44	5,06 + 0,38
<i>Ceramium rubrum auctorum</i>	0,96 + 0,13	2,58 + 0,22	3,11 + 0,68	5,40 + 1,84

Максимальных значений количество углеводов в ульве из трёх бухт достигало весной из:

- Нефтегавани - 0,72 + 0,21 мг/ 100 мг;
- б. Артиллерийской – 0,41 + 0,10 мг/ 100 мг;
- б. Казачьей 0,46 + 0,01мг/ 100 мг.

Минимальный уровень углеводов в

ульве из:

- Нефтегавани отмечен - $0,16 + 0,08$ мг/ 100 мг (летом);
- б. Артиллерийской и б. Казачьей осенью – $0,11 + 0,02$ и $0,13 + 0,05$ мг/ 100 мг соответственно.

Наблюдалось большее содержание углеводов в ульве из Нефтегавани, чем из б. Казачьей зимой в 2, весной в 1,6 раза ($p < 0,05$).

Количество углеводов в энтероморфе колебалось в:

- Нефтегавани от $0,23 + 0,05$ мг/ 100 мг летом до $3,30 + 0,75$ мг/ 100 мг весной;
- б. Казачьей от $0,19 + 0,06$ мг/ 100 мг осенью до $0,94 + 0,01$ мг/ 100 мг весной.

Содержание углеводов в водоросли из Нефтегавани было осенью в 1,8 раза, зимой в 1,5 раза и весной в 3 раза больше ($p < 0,05$), чем из б. Казачьей.

В каллитамнионе из Нефтегавани количество углеводов от $0,35 + 0,06$ мг/ 100 мг летом изменялось до $1,32 + 0,33$ мг/ 100 мг зимой. В водоросли из б. Артиллерийской и б. Казачьей углеводороды достигали максимума весной соответственно: $1,16 + 0,08$ мг/ 100 мг и $1,06 + 0,22$ мг/ 100 мг, тогда как минимальное количество их отмечено осенью в каллитамнионе из б.Артиллерийской – $0,42 + 0,13$ мг/ 100 мг и летом из б. Казачьей – $0,09 + 0,02$ мг/100 мг.

Летом, осенью и зимой наблюдалось повышенное в разы содержание углеводов в водоросли из Нефтегавани и б. Артиллерийской по сравнению с б. Казачьей.

В сезонных изменениях углеводов в церамиуме из трёх бухт выделяются два периода: минимальное количество отмечено в летне – осенний период, максимальное в зимне – весенний. В целом, достоверных различий в содержании углеводов в церамиуме из трёх бухт нет.

Таким образом, если чёткой зависимости содержания липидов и углеводов от сезона года установить не удалось, то можно отметить тенденцию повышенного содержания липидов и углеводов в отдельные сезоны года в водорослях из Нефтегавани и б. Артиллерийской по сравнению с б. Казачьей, что можно объяснить локальными условиями и различной антропогенной нагрузкой на эти акватории.

Средние величины липидов за год, выведенные на основании данных таблицы 1 близки аналогичным показателям в других акваториях, прилегающих к Севастополю, в частности, в б. Карантинной (табл.2).

Наиболее близкие экологические условия, в

частности по нефтяному загрязнению, Балаклавская бухта имеет с районами Нефтегавани и б. Артиллерийской.

Отдельно от системы Севастопольских бухт расположена Балаклавская бухта (рис. 1). Кроме гидротехнических сооружений (подводная часть набережной) была собрана проба обрастаний с корабельной швартовой бочки, расположенной в центре акватории бухты. Всего в фитообрастаниях гидротехнических сооружений Балаклавской бухты отмечено 7 видов зелёных, 6 красных и 1 вид бурых водорослей [6].

Таблица 2. Среднее содержание общих липидов (мг/ 100 мг сухого веса) в водорослях прибрежной зоны Севастополя.

	Нефтегавань	б.Артиллерийская	б.Карантинная	б. Казачья
<i>U. rigida</i>	2,32 + 0,40	2,51 + 0,56	2,92 + 0,20	1,75 + 0,09
<i>C.corymboseum</i>	4,23 + 0,79	4,02 + 0,62	3,12 + 0,21	3,65 + 0,44
<i>C.rubrum uctorum</i>	2,86 + 0,63	3,04 + 0,36	2,34 + 0,09	3,01 + 0,72

Данные по содержанию липидно – углеводородного комплекса (ЛУВ) и нефтяных углеводов (НУ) в ульве, как массовом виде, представлено в табл. 3.

Таблица 3. Содержание (мг/ 100 мг сухого веса) ЛУВ и НУ в *U. rigida* из Балаклавской бухты.

№ станции	ЛУВ	НУ
1	6,39 + 0,10	1,51
2	6,75 + 0,05	1,82
3	5,19 + 0,03	1,35
4	8,04 + 0,30	2,13

Однако индивидуальные особенности б. Балаклавской: длинная, узкая с большим скоплением рыбацко- прогулочных плавсредств, с выходом городского канализационного стока, приводящими к неизбежному загрязнению акватории, создали условия для повышенного содержания липидно – углеводородного комплекса в ульве по сравнению с Нефтегаванью и б. Артиллерийской.

Среди фитоценозов, обитающих в прибрежной зоне Севастополя, значительная роль принадлежит бурой водоросли цистозире (*Cystoseira barbata*). Она образует заросли в прибрежной акватории Севастополя и не обнаружена в массе на причалах. Поэтому она рассматривается отдельно.

Сравнительные осредненные данные по содержанию липидов и нефтяных углеводов в этом виде водоросли приведены на рис. 4.

Во всех трёх районах уровень содержания общих липидов в цистозире был практически одинаков и составлял соответственно:

- $1,99 \pm 0,12$ мг/100 мг и $1,95 \pm 0,17$ мг/100 мг – на станции Приморский бульвар;
- $1,49 \pm 0,11$ мг/100 мг и $1,76 \pm 0,15$ мг/100 мг – на станции парка Победы;
- $2,38 \pm 0,21$ мг/100 мг и $1,89 \pm 0,17$ мг/100 мг на станции в бухте Казачья.

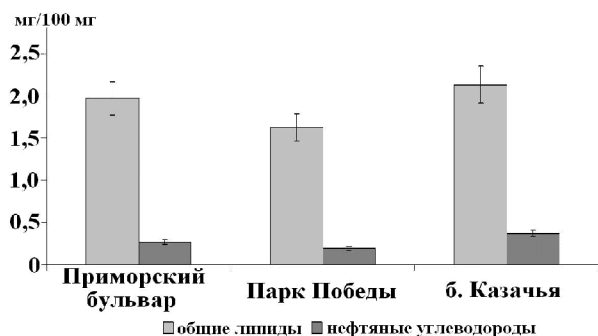


Рис. 4. Среднее содержание общих липидов и нефтяных углеводородов в *C. barbata* в прибрежной акватории Севастополя.

В то же время в отдельные месяцы отмечалось заметное различие в величине содержания общих липидов в этой водоросли, особенно на станции Приморский бульвар и бухта Казачья.

В отличие от станций Приморский бульвар и бухта Казачья, содержание общих липидов в цистозире, собранной на станции на мелководье парка Победы, было более равномерным. Достоверно (при $p = 0,05$) установлены более высокие показатели содержания общих липидов в водорослях станции парк Победы в 2012 г. по сравнению с 2010 г.

Приведенные выше данные касаются образцов цистозир в летний период, так как в зимнее время на мелководье из-за погодных условий практически невозможен сбор материала. Однако в 2010 г. удалось собрать материал в холодное время года (табл. 4).

Таблица 4. Содержание общих липидов в цистозире в холодное время года, мг/100 мг

Месяцы (2010 г.)						
I	III	V	X	XI	XII	Сред- нее
Приморский бульвар						
0,87 $\pm 0,1$	-	1,79 $\pm 0,2$	2,00 $\pm 0,1$	1,07 $\pm 0,1$	1,7 $\pm 0,1$	1,49 $\pm 0,17$
Парк Победы						
1,63 $\pm 0,3$	2,48 $\pm 0,3$	1,5 $\pm 0,2$	1,07 $\pm 0,1$	2,31 $\pm 0,2$	1,46 $\pm 0,1$	1,74 $\pm 0,18$

Из полученных результатов следует, что среднее количество общих липидов в цистозире на станциях Парк Победы и Приморский бульвар станции составляло соответственно $1,74 \pm 0,18$ мг/100 мг и $1,49 \pm 0,18$ мг/100 мг и статистически не различалось между собой. В то же время в некоторые месяцы, например, в феврале, октябре и ноябре, эти различия были существенны.

Помимо определения содержания липидов и углеводов непосредственно в водорослях, обитающих в прибрежных водах Севастополя, был поставлен эксперимент с целью выяснения влияния различных концентраций солянки в морской воде на содержание липидов и углеводов в макрофитах.

В качестве подопытного организма была использована *Ulva rigida*. Результаты эксперимента приведены в таблице 5.

Таблица 5. Содержание липидов и углеводов в *U. rigida* при разных концентрациях соляра в морской воде.

Концентрация солянки в воде, мг/л	Липиды, мг/ 100 мг	Углеводы, мг/100 мг
Контроль	$3,59 \pm 0,75$	$1,31 \pm 0,04$
0,12	$4,10 \pm 0,62$	$1,66 \pm 0,09$
0,20	$3,65 \pm 1,19$	$1,64 \pm 0,20$
10,0	$3,40 \pm 0,46$	$2,24 \pm 0,44$

Количество липидов в водоросли статистически достоверно не изменяется, возможно из-за кратковременности экспозиции (3 дня), тогда как углеводородная фракция значительно увеличивается при возрастании концентрации нефтепродуктов в воде до 10,0 мг/л.

В целом представленные результаты согласуются с литературными данными, по которым содержание липидов в бурых водорослях низкое [5]. Что касается нефтяных углеводов в макрофитах, то, в общем, их концентрация коррелировала с уровнем содержания липидов. При этом в ряде случаев коэффициент корреляции составлял 0,84.

Заключение

Получены новые данные по содержанию углеводов и липидов в массовых водорослях-макрофитах, обитающих в прибрежных водах Севастополя. При существующих концентрациях нефтяного загрязнения в прибрежной зоне Севастополя изменения в липидно-углеводородном составе макрофитов не выявлены. В водорослях наблюдается корреляцион-

ная связь между содержанием общих липидов и нефтяных углеводов.

Подводная растительность, в частности водоросли-макрофиты составляют основную массу штормовых выбросов, способствуя выносу нефтяных углеводов на берег. Полученные данные помогут оценить влияние нефтяных углеводов на подводную растительность прибрежных акваторий Черного моря при аварийных нефтяных разливах.

Iaklava Bay. *Ekologiya morya*, 1999. - No. 49. - P. 16 – 18.

Список литературы

1. Миронов О.Г., Миронов О.А. Нефтяные углеводороды в морской воде прибрежной акватории г. Севастополя / Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2015. - №9. – С. 25 – 29.
2. Миронов О.Г., Миронов О.А. Биологическая составляющая в переносе нефтяных углеводородов в прибрежной зоне моря / Защиты окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2016. - №. С.
3. Миронов О.А. Нефтяные углеводороды в массовых организмах зарослевых сообществ прибрежной зоны Севастополя (Черное море). Севастополь, ЭКОСИ-Гидрофизика. – 2014. - 24 с.
4. Миронов О.Г. Состав органической компоненты ливневых стоков в районе г. Севастополя: материалы международной конференции. Севастополь, - 1992. – Т.1. – С. 48 – 49.
5. Барашков Г.К. Химия водорослей. М., изд. АН СССР. – 1963. – 142 с.
6. Миронов О.Г., Кирюхина Л.Н., Алемов С.В. Комплексные экологические исследования Балаклавской бухты. *Экология моря*, 1999. - №49. – С. 16 – 18.

References

1. Mironov O. G., Mironov O. A. Petroleum hydrocarbons in sea water the coastal waters of Sevastopol / environmental Protection in oil and gas complex. – 2015. - №9. – С. 25 – 29.
2. Mironov O. G., Mironov O. A. Biological component in the transfer of petroleum hydrocarbons in the coastal zone of the sea / environmental Protection in oil and gas complex. – 2016. no. C.
3. Mironov O. A. Petroleum hydrocarbons in the mass organisms Jaroslavich communities in the coastal area of Sevastopol (Black sea). Sevastopol, the ECOSYSTEM Hydrophysics. – 2014. - 24 p
4. Mironov O. G. the composition of the organic components of the stormwater in the district of Sevastopol: proceedings of the international conference. Sevastopol, 1992. – Vol. 1. – P. 48 – 49.
5. Barashkov, G. K. the Chemistry of algae. M., ed. USSR – 1963. – 142 p.
6. Mironov O. G., Kiryukhina L. N., Alyomov S. V. Integrated environmental studies of the Ba-

УДК 661.183.126

Физико-химический метод модифицирования сорбционных материалов на основе лигнина

Н.И. Черкашина¹, В.А. Ерофеев²

ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия. ¹selyanskij-as@ya.ru

Статья поступила 15.02.2017 г.; после доработки 16.02.2017 г.

Аннотация

Предложен новый механохимический метод модификации лигнина, который привел к изменению функционального и структурного состава и образованию новых соединений, обладающих повышенной химической активностью. Получены результаты функционального анализа модифицированных образцов и оптимальные условия для модификации лигносодержащего материала. Предложена функциональность и типы связей структурных единиц лигнина.

Ключевые слова: сорбент, гидролизный лигнин, механохимическая обработка, Фолиоокс, лигниносодержащий материал

Chemical-technological process of obtaining a sorbent based on natural material

N.I. Cherkashina¹, V.A. Erofeev²

Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia
¹selyanskij-as@ya.ru

Received 15.02.2017 y.; received in final form 16.02.2017 y.

Abstract

The proposed new method of mechanochemical modification of lignin, which resulted in a change in the functional and structural composition and the formation of new compounds with enhanced chemical activity. The results of the functional analysis of the modified samples and the optimal conditions for the modification of lignin-containing material. The proposed functionality and link types of the structural units of lignin.

Keywords: sorbent, lignin, mechanochemical processing, Folioks, lignin-degrading material.

Введение

Одним из перспективных материалов в качестве сорбента является лигнин гидролизный, который обладает редоксиемкостью и достаточно высокой комплексообразующей способностью, высокой обменной способностью. Для подобных сорбционных материалов исходным сырьем могут служить отходы от сельскохозяйственного производства и деревоперерабатывающей гидролизной промышленности.

В настоящее время разработаны способы модификации функционального состава (окис-

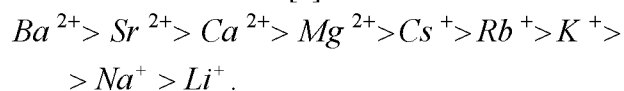
ление, деметилирование, восстановление), введение функциональных групп (этокси-, оксиалкилен-) и гетероатомов (S, N, галогены, Р), меняющих реакционную способность и свойства лигносодержащих материалов. Основными и важными реакциями электрофильного замещения лигнина в ядре является нитрование и галогенирование.

Другие реакции этого типа – сульфирование, азосочетание, конденсация – имеют неизмеримо меньшее значение.

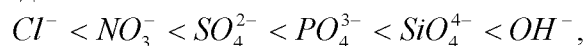
Для электрофильного нитрования в основ-

ном применяются: нитрующая смесь ($HNO_3 + H_2SO_4$), водный раствор HNO_3 , $HNO_3 + CH_3COOH$, нитронийфторборат в сульфолане – $(NO_2)^+(BF_4)^- + C_4H_8SO_3$, концентрированная HNO_3 [1]. Одним из практически возможных вопросов в реакциях электрофильного ароматического замещения является распределение возникающего электрофила между *o*-, *m*- и *p*-положениями ароматического цикла при наличии в нем тех или иных заместителей, которые разделены на две группы: заместители первого рода: CH_3 , NH_2 , OH , OCH_3 , направляющие нитрогруппу исключительно в орто- и пара- положения, и заместители второго рода: NO_2 , CN , $COOH$, $COOR$, направляющие ее в *m*-положение [1].

Препараты лигнина, имея слабокислотные группы, по мнению некоторых авторов [2], по характеру взаимодействия с ионами металлов аналогичны функциональным группам протеина. Сорбция модифицированными препаратами лигнина щелочных и щелочно-земельных металлов уменьшается в ряду, характерном для слабословных катионитов [2]:

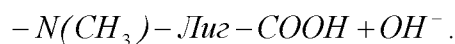
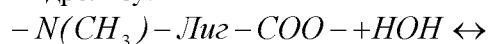


При рассмотрении сорбции анионов модифицированные лигниновые препараты рассматривают как слабословные аниониты, не касаясь цвиттер-ионной структуры. Установлено, что особенности сорбции анионов непосредственно зависят от состояния фрагментов лигнина, и по способности сорбироваться на модифицированных препаратах лигнина анионы располагаются в ряд:



причем Cl^- и NO_3^- сорбируются незначительно особенно в присутствии конкурирующих ионов.

Наиболее высокая сорбция OH^- ионов в этом ряду объясняется участием этого аниона в разрушении внутри- и межмолекулярных хелатов с протоном фрагмента лигнина. Возрастание сорбции анионов, в частности, фосфатов, по мере увеличения содержания в системе ионов Al^{3+} и Fe^{3+} связывают с образованием нерастворимых соединений. В щелочной среде, аналогично аминокислотам, фрагменты лигнина подвергаются гидролизу:



С целью создания методов модификации лигнинных продуктов, пригодных для очистки объектов окружающей среды, а также для регулирования биогеоэкологических процессов, исследованы сорбционные свойства технического гидролизного лигнина и продукта его целенаправленной модификации кремнийсодержащими олигомерами по отношению к катионам Cu^{2+} и Mn^{2+} . В результате модификации соединениями кремния в лигнине формируются новые активные центры адсорбции – силановые группы $(Si-OH)$ [3]. Данные по поглощению Cu^{2+} и Mn^{2+} из водных растворов их сульфатов в широком интервале концентраций показали, что модификация Si-содержащим и олигомерами существенно превышает эффективность поглощения по отношению к обоим катионам. При сорбции из растворов Si – лигнин сорбировал, соответственно, 75 и 24 мг/г Cu^{2+} и Mn^{2+} , а количество прочно связанных катионов Cu^{2+} и Mn^{2+} составило 30 и 16 мг/г соответственно против 20,5 и 9 мг/г для немодифицированного лигнина [3].

Наиболее важными реакциями химии лигнина можно назвать следующие:

- 1) деструкция макромолекул лигнина на отдельные фрагменты;
- 2) конденсация интермедиатов и продуктов деструкции (образование новых углерод-углеродных связей);
- 3) химическая модификация лигнина за счет искусственного введения новых функциональных групп или увеличения числа существующих вследствие деструкции лигнина при химических взаимодействиях.

В работе [4] показана реакционная способность гидроксильных и карбонильных групп лигнина при образовании связей кислород-фосфор, углерод-фосфор, фосфор-азот.

В результате фосфорилирования гидролизного лигнина монометилацетилфосфитом получены продукты, содержащие около 6% химически связанного фосфора. Испытания полученных фосфитов [5] показали, что они проявляют высокую сорбционную способность по отношению к ионам металлов (Fe^{3+} , Ni^{2+} , особенно Zr^{2+}) и фенолам.

Известен метод [6] механохимической модификации получения сорбента, изготовленного из плодовых косточек, обработанного 0,5-0,8% раствором серной кислоты 1:17 – 15 (гидромо-

дуль) при температуре 200-250°C и давлении 10-12 кгс/см² в течении 5-6 часов с последующей обработкой смесью 20%-ного раствора гидроксида аммония, 0,1%-ного гидроксида натрия, 0,5%-ного раствора цитрата натрия с последующей промывкой раствором комплексона III и обессоленной водой. Полученный целевой продукт подвергался комплексному физико-химическому испытанию в сравнении с известными сорбентами, полученными по технологии согласно [6].

На основе модифицированного лигнина получен сорбент для фолиевой кислоты [7] путем последовательной обработки ГЛ (гидролизного лигнина) серной кислотой, хлорированием, аминированием полиэтиленамином в среде спирта, который затем подвергался метилированию с использованием диметилсульфата. Модифицированный таким способом лигнин содержит 9,2-9,5% азота; 3,2-4,5% сульфатной золы и обеспечивает 70-73%-ную сорбцию фолиевой кислоты. Он может быть использован в химической, фармацевтической промышленности, в медицине и биохимии как высокоэффективный сорбент для извлечения фолиевой кислоты из растворов и биологических жидкостей [3].

Также известен еще один способ получения сорбента на основе ГЛ. Согласно [8] его последовательно обрабатывают элементарным хлором, раствором аммиака и диметилсульфатом. Может быть получен аминолигнин, но с предварительной обработкой формалином. При этом процесс аминирования осуществляют аммиаком и первичными аминами при 95-120°C [9]. Это позволяет ввести в структуру лигнина до 11% азота, что повышает адсорбционные свойства целевого продукта на 12-23%. Полученный таким способом модифицированный лигнин может применяться в качестве ионообменной смолы, а также в качестве адсорбента в химической, фармацевтической промышленности.

Для обеспечения лучшей сорбционной емкости в отношении анионов тяжелых металлов технический лигнин обрабатывают водным раствором $C_{10} - C_{10}$ – алкилтриметиламмонийхлорида с концентрацией 5-10 г/л в присутствии щелочи при pH среды 10-12 [10]. Полученное азотсодержащее производное лигнина можно использовать для сорбции анионов тяжелых металлов из сточных вод.

Также в [11] предлагается обработать ГЛ гидроокисью аммония при температуре 150-200°C в присутствии сульфата аммония в качестве катализатора. Проведение процесса при по-

вышенной температуре в присутствии катализатора приводит к быстрому присоединению аминогрупп (придающих продукту свойство ионообменника) к матрице лигнина и одновременно образованию «жесткого» каркаса лигнина, внутри которого имеются поры различного размера.

Технические лигнины и их производные показывают хорошую сорбцию в отношении ионов некоторых металлов [12]. Максимальная сорбция ионов свинца и цинка ($Pb^{2+} - 157,5$ мг/г, $Zn^{2+} - 41,2$ мг/г) наблюдается на гидролизном лигнине шелухи семян хлопчатника, что, вероятно, связано с большим содержанием карбоксильных групп.

На основе ГЛ синтезированы аминолигнины, которые в свою очередь являются полиоснованиями с обменной емкостью 1,0-3,2 мг-экв/г и характеризуются высокой сорбционной способностью в отношении тяжелых металлов [13]. Аминолигнин сорбирует более 90% содержащихся в сточных водах ионов железа, меди, никеля, свинца, цинка и около 50% ионов магния, хрома, кадмия.

Таким образом, лигнин может обладать ионообменными свойствами к полярным компонентам и адсорбционными по отношению к неполярным. Преобладание того или иного свойства будет зависеть от способа модификации (введенных функциональных групп, увеличения поверхности контакта).

Постановка цели научной работы

Целью научного исследования является создание нового сорбционного материала на основе лигнина путем физико-химической модификации его в безводной среде.

Для достижения поставленной цели необходимо определить наилучшие условия для модификации лигнинсодержащего материала, ионообменная способность которого зависит от качественного и количественного состава функциональных групп, способных к ионному обмену.

Определение оптимальных условий модификации лигнинсодержащего материала

Существующие ионообменные материалы на основе синтетических ионитов не в полной мере отвечают этим требованиям. Получение синтетических ионитов связано с энергоемкими технологиями и нерешенными проблемами утилизации при отработке их ресурса. Лигнин, при-

родный полимер, обладает некоторыми ионообменными способностями, но их недостаточно, чтобы его использовать в промышленных ионообменных процессах.

Являясь природным полимером, составной частью растительного материала, он может быть использован с достаточной эффективностью и экономической целесообразностью при направленной модификации.

Лигнин при определенных условиях способен вступать в нуклеофильные реакции и электрофильного замещения [15], увеличивая свою реакционную способность и получая новые свойства.

Нами были использованы эти свойства лигнина при модификации в механохимических процессах. Известно, что обработка лигнина в дезинтеграторе и других измельчителях без использования неорганических ингредиентов сопровождается его модификацией, так, увеличивается содержание до 12 % гидроксильных (кислых) групп, наблюдались разнообразные структурные изменения, свидетельствующие о разрушении его сетчатой структуры, в результате чего содержание свободных радикалов возрастает на 50 %.

Интенсификация размола приводит к более глубоким структурным изменениям лигнина [17, 19]. В результате механохимической обработки лигнина, на основе термических реакций в интервале температур 120...180°C протекают реакции дегидротации и деструкции алкиларильных

связей между фенилпропановыми единицами.

Диметоксилирование и структурирование лигнина позволяют предполагать возможность протекания реакций с неорганическими ингредиентами, в результате которых могут быть получены многофункциональные продукты с высокой реакционной способностью.

Нами в реакциях механохимической модификации лигнина в безводной среде использовался исходный материал лигнина косточковых (скорлупа грецкого ореха, миндаля, абрикосовой, сливовой, персиковой косточки), предварительно измельченный до размеров частиц 0,3...0,7 мм. В качестве неорганических модификаторов брали смесь ингредиентов: $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$; $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ (оптимальные концентрации подобраны экспериментальным путем); $\text{Ba}(\text{OH})_2$.

Исходная смесь помещалась в шаровую мельницу и обрабатывалась дискретно в течение 18 ч (оптимальное время непрерывной обработки найдено экспериментально и равно 12 ч).

Готовый модифицированный продукт обрабатывали горячей обессоленной водой, подкисленной $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, в целях удаления из общей массы продукта остатков, не вступивших в химические реакции неорганических ингредиентов.

Далее брали образцы полученного продукта и проводили качественный и количественный функциональный анализ. Анализ проводили по методикам [14,18]. Результаты функционального анализа приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты функционального анализа модифицированных образцов

Функциональные группы	Исходный материал (лигнин косточковый), мг-экв/г	Модифицированный материал (лигнин косточковый), мг-экв/г
Кислые OH группы (-COOH; OH- фенольные, -CON-альдегидные)	0,78	15,05
Карбонилы и кетоны = CO	1,45	1,58
Спиртовые гидроксилы -OH	6,15	3,85
Связанный азот (-COONH ₄ $\equiv$ C -NH ₂ , -CONH ₂ , -C=NH)	-	3,99

Ионообменную емкость ионита и способность к хелатообразованию характеризуют наличие функциональных групп, участвующих в ионном обмене и хелатообразовании (-OH - кислоты, -C = O карбонилы и связанный азот).

Теоретической предпосылкой возможности механохимической модификации явилось строение макромолекулы лигнина, состоящего из структурных единиц (фенилпропановых), связанных между собой различного типа химиче-

скими связями, среди которых присутствуют -O-H; -O-R; -O-Ar; -O-; -C=O; -C-C- и др.).

Принято, что в структурную модель лигнина входит около 28 структурных фенилпропановых единиц (модель Фрейденберга) [14].

В обобщенном виде функциональность и типы связей структурной единицы лигнина можно представить в виде схемы на рис. 2 [2, 5].

Можно предположить, что модификация протекает в условиях термодинамического про-

цесса с разрывом связей углерода с другими атомами в макромолекуле лигнина с последующим взаимодействием диссоциированных неорганических ингредиентов. Далее происходит конденсация и полимеризация образовавшихся фрагментов. Энергия связи для различных типов структурных соединений в фрагментах лигнина приведена в табл. 2 [16].

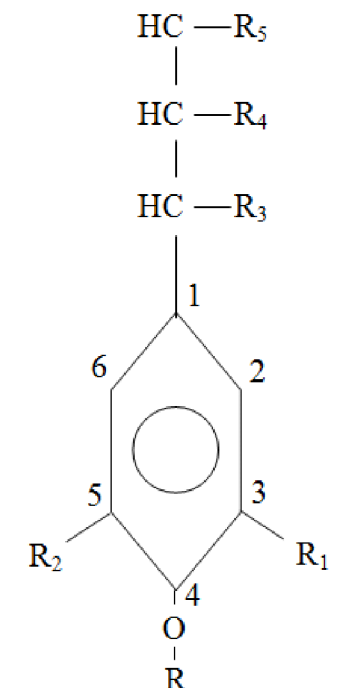


Рис. 2. Функциональность и типы связей структурной единицы лигнина:

$R=H$; $C\equiv$; $R_1=H$, OCH_3 ; $R_2=H$, OCH_3 , $C\equiv$;
 $R=OH$; $OAlk$, OAr , $H-C$ - $R_3=C=O$
 $R=OAr$, $C\equiv$; $HCR_4=C=O$
 $R=OH$, $OC\equiv$; $H_2CR_2=CH-O$

Исходя из приведенных значений энергий связи в структурных единицах макромолекулы лигнина и полученных результатах функционального анализа можно предположить некоторые закономерности взаимодействия лигнина с

неорганическими ингредиентами в механохимических процессах:

- 1) сольволиз лигнина будет определяться разрывом β -эфирных алкиларильных связей;
- 2) величина энергии возмущения в момент взаимодействия реагента и реакционного центра в структурных звеньях лигнина является достаточной для преодоления энергии связи.

Конденсационные превращения протекают аналогично, согласно принятым принципам, при этом реагентами являются фенольные продукты деструкции лигнина, а в роли субстрата чаще всего выступают интермедиаты типа цвиттер-ион-хинонметид.

Такие превращения могут осуществляться как прямое нуклеофильное замещение α - и β -С-атомов боковой цепи [20, 21].

Таким образом, предложен новый подход к увеличению реакционной способности целевого продукта, учитывающий строение и реакционную способность структурных звеньев лигнина при деструкции и конденсации в условиях безводной механохимической обработки. Механохимическая обработка лигнина с неорганическими модификаторами приводит к активации и изменению количественного и качественного функционального состава его.

В процессе обработки протекают реакции электрофильного замещения и нуклеофильные реакции с неорганическими реагентами при замещении с разрывом связей α - и β -С-атомов боковой цепи, ионизированными ингредиентами.

При этом структурные изменения и реакции конденсации приводят к увеличению реакционной и ионообменной способности лигнина. В дальнейшем необходимо произвести испытания на натуральных объектах для подтверждения увеличения ионообменной способности разработанного сорбента.

Таблица 2. Энергия связи для различных типов соединений присутствующих во фрагменте макромолекулы лигнина

Тип связи	Ср. энергия связи, кДж/моль	Тип связи	Ср. энергия связи, кДж/моль
C-O	340	C-H в бензоле	460
C-C	356	C=C	598
C-H	413	C=O	710
O-H	461	C $\equiv$ C	813

Выводы

Механохимическая обработка лигнина с неорганическими модификаторами приводит к активации и изменению количественного и качественного функционального состава его. Полученный сорбционный материал может обладать ионообменными свойствами к полярным компонентам и адсорбционными по отношению к неполярным. Преобладание того или иного свойства будет зависеть от способа модификации (введенных функциональных групп, увеличения поверхности контакта).

Список литературы

1. Грибков И. В. Химический состав и строение технического гидролизного лигнина: дис. кан. хим. наук : 05.21.03 / Грибков Иван Владимирович. – С.-Петербург., 2008. – 142 с.
2. Стрихарь О. Л. Оптимизация процессов очистки и утилизации ЖРО объекта "Укрытие" с учетом их элементного состава / О. Л. Стрихарь, О. П. Андронов // В сб. Проблемы Чернобыля. – 2002. – № 9. – С. 155–162.
3. Броварова О. В. Получение и исследование свойств сорбционных материалов на основе растительных биополимеров: дис. ... канд. хим. наук : 05.21.03 / Броварова Ольга Владиславовна. – С., 2006. – 157 с.
4. Комаров А. А. Роль гидролизного лигнина в плодородии почв и питании растений: дис. доктора сель.-хоз. наук : 06.01.03 / Комаров Андрей Алексеевич. – С.-Петербург., 2004. – 383 с.
5. Царев Н.И. Модификация лигнина смешанными ангидридами ажилфосфористых и карбоновых кислот. 4. Возможные пути применения фосфитов гидролизного лигнина / Н. И. Царев, Л. А. Першина, А. В. Забелина // Химия растительного сырья. – 1998. – № 1. – С. 51–56.
6. Пат. Украины, МКП⁶ Е 02 В 15/04, В 01 J 20/02, В 01 J 20/22. Сорбент для очистки поверхности воды от нефти и нефтепродуктов / Форостян Ю. Н., Ерофеев В. А.; заявитель и патентообладатель Форостян Ю. Н. – №22904; заявл. 13.12.96; опубл. 05.05.98, Бюл. № 3 (I ч.).
7. Горлов, И. Ф. Разработка технологий получения сорбентов на основе побочных продуктов переработки растительного сырья / И. Ф. Горлов, И. М. Осадченко // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2004. – № 11. – С. 49–50.
8. Веприкова Е. В. Свойства порошкообразных и таблетированных препаратов на основе энтеросорбента из луба коры березы / Е. В. Веприкова, М. Л. Шишко, Е. Н. Чунарев // Химия растительного сырья. – 2010. – №2. – С. 31–36.
9. Егорова Е. Ю. Получение сорбента из скорлупы кедрового ореха методом низкотемпературной обработки / Е. Ю. Егорова, Р. Ю. Митрофанов, А. А. Лебедева // Ползуновский вестник. – № 3. – 2007. – С. 35–39.
10. Пат. 2094052 Российская Федерация, МКП⁶ А 61 К 35/78, А 61 К 9/14, С 07 G 1/00. Способ обработки гидролизного лигнина / Горохова В. Г., Кошилев Н. А., Шишко А.А.; заявитель и патентообладатель Ин-т солнечно-земной физики СО РАН. – № 95110386/14; заявл. 20.06.95; опубл. 27.10.97, Бюл. № 4 (I ч.).
11. Пат. 2163505 Российская Федерация, МКП⁶ В 01 J 20/22, С 02 F 1/28, G 21 F 9/12. Способ получения сорбентов радионуклидов / Карманов А. П., Кочева Л. С., Шуктомова И. И.; заявитель и патентообладатель Ин-т химии Коми научного центра Уральского отделения РАН. – № 2000105018/12; заявл. 29.02.00; опубл. 27.02.01, Бюл. № 1 (I ч.).
12. Далимова Г. Н. Сорбция ионов металлов техническими лигнинами и их производными / Г. Н. Далимова, П. Ю. Штырлов, М. Р. Якубова // Химия природных соединений. – 1998. – № 3. – С. 362–365.
13. Aminolignini ka aktivi smago metaliu joni sorbenti / B. Neiberte, G. Zakis, V. Ccipinite [and other] // Latuijas kimijas Zumals. – 2001. – № 1. – P. 68–70.
14. Черкашина Н. И. К вопросу о взаимодействии лигнинов с неорганическими модификаторами при механохимической обработке / Н. И. Черкашина, В. А. Ерофеев // Сборник научных трудов СНУЯЭ и П. – 2011. – № 2 (38). – С. 184–189.
15. Пат. 78908 Украины, МПК51 В 01 J 20/22 (2006.01). Технология производства сорбента на основе лигнина (патент на изобретение) / Н.И. Черкашина, В.А. Ерофеев.; заявитель и патентообладатель Севастопольский нац. ун-т ядерной энергии и промышленности. – № u 2012 09109; заявл. 10.04.2013; опубл. 12.07.13, Бюл. № 7. – 5 С.
16. Пат. 93824 Украины. Технология производства сорбента на основе лигнина / Н.И. Черкашина, В.А. Ерофеев.; заявитель и патентообладатель Севастопольский нац. ун-т ядерной энергии и промышленности. – № а 2013 93824; заявл. 10.04.2013; опубл. 12.07.13, Бюл. № 23 (I ч.). – 6 С.
17. Черкашина Н.И. Очистка трапных вод и технологических сред первого контура от радионуклидов и нефтепродуктов сорбентами на основе лигнина / Н.И. Черкашина, В.А. Ерофеев // Водоочистка. - 2011. - № 10. - С. 40–44.
18. Черкашина Н.И. Технология получения сорбционных материалов на основе лигнина для утилизации жидких радиоактивных отходов / Н.И. Черкашина // автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук – Севастополь: изд-во СНУЯЭиП, 2011. – С. 22.
19. Черкашина Н.И. Использование сорбентов на основе отходов переработки растительного сырья при очистке сточных вод и технологических

сред / Н.И. Черкашина, В.А. Ерофеев, Е.А., Культенко // Экологическая безопасность. - 2013. - № 2 (16). - С. 89-92.

20. Черкашина Н.И. Очистка сточных вод от ионов металлов сорбентами из природных материалов на основе лигнина / Н.И. Черкашина, А.С. Черкашин, И.И. Марончук // Новый университет. Серия: Технические науки. 2015. № 11-12 (45-46). С. 51-57.
21. Черкашина Н.И. Исследование эффективных сорбционных материалов для извлечения радионуклидов из технологических сред / Н.И. Черкашина, О.В. Ведищева // Материалам научно-практической конференции «Актуальные вопросы ядерно-химических технологий и экологической безопасности» (15 – 18 июня 2016 г., г. Севастополь). –Севастополь: СевГУ, 2016. – 356 с.

References

1. Gribkov I. V. Chemical composition and structure of technical hydrolysis lignin: dissertation PhD : 05.21.03 / Gribkov Ivan Vladimirovich. – Saint-Petersburg, 2008. – 142 p.
2. Stricher O. L. Optimization of treatment processes and disposal of liquid radioactive waste of object "Shelter" based on their elemental composition / Stricher O. L., O. P. Andronov. // Problems of Chernobyl. – 2002. No. 9. – P. 155-162.
3. Povarova O. V. Obtaining and study of the properties of sorption materials based on natural biopolymers: thesis PhD : 05.21.03 / Brovarov Olga Vladislavovna. – S., 2006. – 157 c.
4. Komarov A. A. the Role of hydrolytic lignin in soil fertility and plant nutrition: thesis of doctor of agricultural Sciences : 06.01.03 agrarian / Komarov Andrey. – St. Petersburg, 2004. – 383 p.
5. Tsarev N. And. Modification of lignin arylphosphonate mixed anhydrides and carboxylic acids. 4. Possible ways of application of phosphites hydrolytic lignin / N. I. Tsarev, L. A. Pershina, A. Zabelin, V. // Chemistry of vegetable raw materials. – 1998. – No. 1. – P. 51-56.
6. Patent of Ukraine, МКП6 E 02 B 15/04 B 01 J 20/02, B 01 J 20/22. Sorbent for cleaning water surface from oil and oil products / Furostan Yu. N., Erofeev V. A.; applicant and patentee Furostan Yu. N. No. 22904; statement. 13.12.96 ; publ. 05.05.98, bull. No. 3 (I hours).
7. Gorlov, I. F. Development of technologies for the production of sorbents based on by-products of processing of vegetable raw materials / I. F. Gorlov, I. M., osadchenko // Storage and processing of agricultural products. – 2004. – No. 11. – P. 49-50.
8. Veprikova E. V. properties of powdered and tableted drugs on the basis of the enterosorbent made of the bast of birch bark / E. V. Veprikova, M. L., Shipko, E. N. Chunarev // Chemistry of vegetable raw materials. -2010. – No. 2. – P. 31-36.
9. Egorova E. Yu., production of sorbent from the shell of the cedar nut by the method of low-temperature processing / E. Y. Yegorov, R. Y. Mitrofanov, A. Lebedev // Vestnik polzunovskii. – No. 3. – 2007. – P. 35-39.
10. Patent 2094052 Russian Federation, МКП6 A 61 K 35/78, A 61 K 9/14 C 07 G 1/00. A method of processing hydrolytic lignin / Gorokhov V. G., Koshelev N. A., Shishko A. A.; applicant and patentee Institute of solar-terrestrial physics SB RAS. No 95110386/14; statement 20.06.95 ; publ. 27.10.97, bull. № 4 (I part).
11. Patent 2163505 Russian Federation, МКП6 B 01 J 20/22, C 02 F 1/28, G 21 F 9/12. Method of obtaining sorbents of radionuclides / Pockets P. A., Kocheva L. S., Shuktomova I. I.; applicant and patentee Institute of chemistry, Komi scientific center, Ural branch of RAS. No 2000105018/12; 29.02.00 ; publ. 27.02.01, bull. No. 1 (I h).
12. Galimova GN Sorption of metal ions technically-mi lignins and their derivatives / G. N. Galimova, P. Y. Shtyrov, Yakubov M. R. // Chemistry of natural compounds. – 1998. – No. 3. – P. 362-365.
13. Aminolignini ka aktivi smago metaiu joni sorbenti / B. Neiberte, G. Zakis, V. Ccipinite [and other] // Latuijas kimijas Zumals. – 2001. – № 1. – P. 68–70.
14. Cherkashina N. I., Erofeev V. A. K voprosy o vzaimodeistvii ligninov s neorganicheskimi modificatorami pri mexanicheskoi obrabotke [To the question about the interaction of lignin with inorganic modifiers to the mechanochemical treatment] Collection of scientific works SNUNE and I P.– 2011. – № 2 (38). – S. 184-189.
15. Cherkashina N.I., Erofeev V. A., Pat. 93824 Ukraine, IPC 51 B 01 J 20/22, B 01 J 20/30, C 02 F 1/28. Metod proizvodstva modificirovannogo kostochkovogo sorbenta "Foliox- MSP" [A method of producing stone of the modified powder of organic sorbent "Foliox- MSP"]; the applicant and patentwinner of Sevastopol national University of nuclear energy and industry № A 2010 04280; .. 13.04.2010 ; publ. 12.07.10. – P 5.
16. Cherkashina N.I., Erofeev V. A. Pat. 93824 Ukraine. Texnologija proizvodstva sorbrnta na osnove lignina [The production technology of the sorbent on the basis of lignin]; applicant and patentee of the of Sevastopol national University of nuclear energy and industry № A 2013 93824; Appl. 10.04.2013;publ. 12.07.13,bull. No. 23 (I h)..- P 6.
17. Cherkashina N.I., Erofeev V.A. Ochistka trapnix vod I texnologicheskix sred pervogo kontura ot radionuklidov I nefteproduktov sorbenta na osnove lignina [Cleaning floor drain waters and fluids of the primary circuit from radionuclides and petroleum sorbents based on lignin] Water purification, 2011, Vol. 10, P.40-44.
18. Cherkashina N.I. Texnologija polychenijz sorbcionnix materialov na osnove lignina dlja yutilizacii jidkih radioaktivnix otxodov[The technology of obtaining sorption materials based on lignin for utiliza-

- tion of LRW] The dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical Sciences – Sevastopol: publishing house SNUNE and industry 2011. – P. 22.
19. Cherkashina N.I., Erofeyev V.A., Kultenko E.A. ispolzovanie sorbentov na osnove othodov pererabotki rastitelnogo sirjz pri ochistke stochnix vod I tehnologicheskix sred [The use of sorbents based on waste processing of vegetable raw materials in the purification of wastewater and technological environments.] Environmental safety, 2013, the Issue Vol. 2(16) – Pp. 89-92.
 20. Cherkashina N.I., Cherkashin A.S., Maronchuk I.I. Ochistka stochnix vod ot ionov metallov sorbentami iz prirodni[materialov na osnove lignina [Wastewater treatment from metal ions by sorbents from natural materials based on lignin] New University. Series: Technical Sciences. 2015. No. 11-12 (45-46). S. 51-57.
 21. Cherkashina N.I., Vedisheva V.A. Issledovanie effektivnosti sorbcionnix materialov dlja izvlechenijz radionuclidov iz tehnologicheskij sred [The study of effective sorption materials for extraction of radionuclides of technological environments Materials of scientific-practical conference "Topical issues of nuclear-chemical technologies and ecological safety" (15 – 18 June 2016, Sevastopol). – Sevastopol: SevGU, 2016. – 356 p.

ISSN 2413-5526

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
«ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ТЕХНОЛОГИИ»
Том 3 № 1**

**SCIENTIFIC MAGAZINE
«POWER PLANTS AND TECHNOLOGIES»
Vol. 3 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 sevsu.ru/l.v.litvinova@sevsu.ru
тел. +7(8692) 71-30-44, факс +7(8692) 71-01-38

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 27.03.2017. Изд. № 59/17. Зак. 26/17. Тираж 65 экз.
Объем 9 п.л. Усл. печ. л. 8,37. Уч.-изд. л. 8,82. Формат бумаги 60 x 84 1/8

РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»