

ISSN 2413-5526

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал

Т. 8 № 2

**Севастополь
2022**

**Э 651 Энергетические установки и технологии: науч. журнал. – Севастополь:
ФГАОУ ВО СевГУ, 2022. – Т. 8. - № 2. – 108 с.: ил.**

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

Предназначен для научных работников, инженеров и специалистов, работающих на предприятиях и в организациях энергетики, аспирантов и студентов технических вузов. Журнал выходит 4 раза в год.

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;
Магдых 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

Автоматизация процессов контроля и управления	7
<i>Зацаринная Т.Г., Аникевич К.П., Давиденко Е.Н., Ильчук Д.С.</i> Цифровое регулирование уровня конденсата в конденсатосборнике сепаратора-пароперегревателя	7
<i>Петула Т.Е., Слива С.А.</i> Сравнение методов построения логарифмических частотных характеристик (ЛЧХ) разомкнутой системы автоматического управления (САУ) с помощью программ Mathcad 14, Matlab R2020b и ручного способа	16
Электротехнические комплексы и системы	23
<i>Крастелёв О.М.</i> Особенности эксплуатации батарей конденсаторов в цеховых электросетях напряжением до 1000 В при наличии высших гармоник	23
<i>Скидан А.А., Смирнов В.В., Ивченко О.Р., Смирнов И.К.</i> Применение управляемого подмагничиванием шунтирующего реактора в гибких электрических системах	29
<i>Скидан А.А., Смирнов В.В., Третьяченко В.Н.</i> Перспективы применения сверхпроводящих индуктивных накопителей для повышения надежности электроснабжения	35
Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии	40
<i>Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Коломийченко В.П., Бордан Д.Ф., Жиганов И.Г.</i> Возможности уменьшения мощностных потерь фотоэлектрических панелей в условиях Крымского региона	40
<i>Кувшинов В.В., Тиман Д.И., Какушина Е.Г., Коломийченко В.П., Березняк В.А.</i> Возможности преобразования ветровых потоков различными типами ветровых турбин	45
<i>Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Власов Н.А., Бордан Д.Ф., Березняк В.А.</i> Исследование солнечных установок с системой накопления электрической энергии	54
<i>Кувшинов В.В., Шахова Н.В., Власов Н.А., Березняк В.А., Бордан Д.Ф.</i> Разработка проекта комбинированного гелиопрофиля для автономного энергосберегающего дома	60
<i>Кувшинов В.В., Сперанский М.Ю., Березняк В.А., Майорова Ю.А., Лавренчук А.А.</i> Энергообеспечение автономного потребителя энергоэффективными системами на основе возобновляемых видов энергии	65
Информационные технологии в энергетике	72
<i>Антонова-Дружинина А.О., Шейко А.О., Смычков Е.Е., Смычков А.Е.</i> Разработка системы защиты на объекте информатизации от утечки по акустическому каналу	72
<i>Гончаренко Ю.Ю., Погуляй Г.С., Пелись В.В., Щербаченко М.Г.</i> Качественная оценка методик разработки автоматизированных средств	79

Экологическая безопасность	87
<i>Косовская М.А., Лямина Н.В., Хренова Т.К.</i> Оценка влияния антропогенной нагрузки на жизненное состояние <i>Styphnolobium japonicum</i> (L.) Schott	87
<i>Косовская М.А., Косовская С.Ю., Лямина Н.В., Хренова Т.К., Ленивенко Н.Н.</i> Применение методов дистанционного зондирования для оценки качества урбаноcреды	93
<i>Якушина А.А., Фролова М.А.</i> Анализ радиационной обстановки территории фгаоу во «севастопольский государственный университет»	102

CONTENTS

Process automation and control	7
<i>Zatsarinnya T.G., Anikevich K.P., Davidenko E.N., Ilchuk D.S.</i> Condensate level digital control in condensate collector of separator-superheater	7
<i>Petula T.E., Sliva S.A.</i> Comparison of methods for constructing logarithmic frequency characteristics (LFC) of an open-loop automatic control system (ACS) using Mathcad 14, Matlab R2020b and manual method	16
Electrotechnical complexes and systems	23
<i>Krastelev O.M.</i> Features of the operation of capacitor banks in workshops electrical networks with voltage up to 1000 V, if available higher harmonics	23
<i>Skidan A.A., Smirnov V.V., Ivchenko O.R., Smirnov I.K.</i> Application of bias-controlled shunt reactor in flexible electrical systems	29
<i>Skidan A.A., Smirnov V.V., Tretyachenko V.N.</i> The prospects of using superconducting magnetic energy storage to improve the reliability of power supply	35
Alternative and renewable energy sources	40
<i>Kuvshinov V.V., Kakushina E.G., Kolomiychenko V.P., Timan D.I., Zhiganov I.V.</i> Possibilities of reducing the power losses of photovoltaic panels in the conditions of the Crimean region	40
<i>Kuvshinov V.V., Timan D.I., Kakushina E.G., Kolomiychenko V.P., Berezhnyak V.A.</i> The possibilities of converting wind flows by different types of wind turbines	45
<i>Kuvshinov V.V., Kakushina E.G., Vlasov N.A., Bordan D.F., Berezhnyak V.A.</i> Research of solar installations with an electric energy storage system	54
<i>Kuvshinov V.V., Shakhova N.V., Vlasov N.A., Berezhnyak V.A., Bordan D.F.</i> Development of a combined solar profile project for an autonomous energy-saving house	60
<i>Kuvshinov V.V., Speranskiy M.Yu., Berezhnyak V.A., Mayorov Yu.A., Lavrenchuk A.A.</i> Energy supply of an autonomous consumer with energy-efficient systems based on renewable energy	65
Information technologies in the energy sector	72
<i>Antonova-Druzhinina A.O., Scheiko A.O., Smychkov E.E., Smychkov A.E.</i> Development of a protection system at an informatization facility against leakage through an acoustic channel	72
<i>Goncharenko Y.Y., Pogulyay G.S., Pelis V.V., Shcherbachenko M.G.</i> Definition of the methodology for developing an automated tool	79
Environmental Safety	87
<i>Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Khrenova T.K.</i> Assessment of the impact of anthropogenic load on the vital state of <i>Styphnolobium japonicum</i> (L.) Schott	87
<i>Kosovskaya M.A., Kosovskaya S.Y., Lyamina N.V., Khrenova T.K., Lenivenko N.N.</i> Application of remote sensing methods to assess the quality of	93

the urban environment

Yakushina A.A., Frolova M.A. Analysis of the radiation situation at the
territory of the sevastopol state university

102

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.186

**Цифровое регулирование уровня конденсата в
конденсатосборнике сепаратора-пароперегревателя**

Т.Г. Зацаринная, К.П. Аникевич, Е.Н. Давиденко, Д.С. Ильчук
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, biochip@mail.ru, anikonst@mail.ru, davi-helen@yandex.ru,
dashailchuk@mail.ru

Статья поступила 11.04.2022 г.; после доработки 13.04.2022 г.

Аннотация

В данной статье дана краткая характеристика технологической системы промперегрева. Проведено математическое моделирование цифровой САУ уровня конденсата в конденсатосборнике сепаратора-пароперегревателя. Модель САУ реализует принцип фаззи-управления. Рассмотрена структура цифрового регулятора, входящего в программно-алгоритмическое обеспечение АСУТ-500М.

Ключевые слова: турбина, регулятор, электростанция, конденсатосборник, сепаратор-пароперегреватель, клапан, нечеткая логика, терм.

**Condensate level digital control in condensate collector
of separator-superheater**

T.G. Zatsarinnaya, K.P. Anikevich, E.N. Davidenko, D.S. Ilchuk
Sevastopol state university, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, biochip@mail.ru,
anikonst@mail.ru, davi-helen@yandex.ru, dashailchuk@mail.ru

Received 11.04.2022 y.; received in final form 13.04.2022 y.

Abstract

A brief description of intermediate overheating technological system is given in the article. Mathematical model of the digital level automatic control system (ACS) in the condensate collector of separator-superheater is developed. This mathematical model implements the principle Fuzzy control. The scheme of digital governor which is considered to be a part of the software and algorithmic support for turbine automatic control system (ASUT-500M) is presented.

Keywords: turbine, governor, power plant, condensate collector, separator-superheater, valve, fuzzy logic, therm.

Введение

В турбинах АЭС, работающих на насыщенном паре, одной из наиболее важных, является проблема уменьшения влагосодержания в ее проточной части. Поступающий в турбину пар уже содержит влагу и, если турбоустановка не будет иметь влагоотделителей, то в процессе расширения насыщенного пара в турбине его влажность будет непрерывно увеличиваться и

достигнет значений, недопустимых по условиям эрозионного износа проточной части цилиндра низкого давления (ЦНД). Кроме того, повышенная влажность пара станет причиной снижения внутреннего относительного КПД цилиндра турбины из-за неизбежных затрат энергии на разгон и отбрасывание капель влаги, на трение потока пара о капли и о пленки влаги и т.п.

Влияние влажности пара на долговремен-

ную надежность турбоагрегата обусловлено интенсификацией процессов коррозии и эрозии. В результате целого комплекса механических, тепловых, химических, электрохимических взаимодействий с потоком пара возникает коррозия поверхности лопаток турбины, которая приводит к их повреждению, проявляющемуся в виде мелких вмятин, шероховатостей. В такой же последовательности происходит и развитие эрозии.

Полное устранение или частичное снижение нежелательных последствий влияния влаги в проточной части турбины возможно активными и пассивными методами. Среди пассивных методов (не изменяющих содержание влаги в проточной части) наиболее распространено упрочнение поверхностей лопаток, подверженных эрозии, с применением различных способов: местная закалка кромок, хромирование, электроискровая обработка и др. [1].

К числу активных методов защиты от эрозии относятся:

- отсос влаги из проточной части вместе с отборами пара на регенеративный подогрев;
- внутриканальная сепарация отсоса влаги с поверхностей направляющих лопаток;
- сбор влаги, отбрасываемой центробежными силами в щелях и каналах;
- использование выносных сепараторов;
- применение промежуточного перегрева.

Эффективность промежуточной сепарации и перегрева пара, как и других способов снижения влажности пара в проточной части, определяется, прежде всего, повышением надежности (уменьшением эрозионного износа) и экономичности (увеличением КПД турбоагрегата) [2].

Для снижения конечной влажности пара в тепловой схеме таких паровых турбин как К-220-44-3, К-500-65/3000, К-1000-60/1500, К-1000-60/3000, работающих на энергоблоках АЭС России, предусмотрена промежуточная сепарация пара с последующим двухступенчатым паровым перегревом отсепарированного пара, осуществляемая вне корпуса турбины в комбинированных аппаратах – сепараторах-пароперегревателях (СПП). Так, применение промежуточной сепарации и двухступенчатого перегрева повышает тепловую экономичность турбины мощностью 500 МВт примерно на 2,3%.

Для обеспечения надежности работы турбин, в схеме которых предусмотрены сепараторы-пароподогреватели, а также для обеспече-

ния нормальных условий эксплуатации этих аппаратов должны быть соблюдены определенные условия, как следующие [1]:

- аппараты в процессе эксплуатации должны быть "сухими", что означает вывод из СПП и слив в промежуточные емкости сепарата влажного нагреваемого пара и конденсата греющего пара. Тем самым предотвращается возможность заброса воды в турбину или разгон ее выпаром сепарата или конденсата в режимах резкого снижения нагрузки, с отключением генератора;
- в промежуточных емкостях должен поддерживаться постоянный уровень сепарата или конденсата, чтобы избежать проскоков пара через работающий аппарат и др.

Исходя из вышесказанного, очевидно, что надежность турбины напрямую связана с необходимостью снижения влаги в ее проточной части, поэтому данная статья имеет своей целью рассмотреть цифровое регулирование уровня конденсата в конденсатосборнике СПП турбоустановки К-500-65/3000, качественное поддержание которого является одним из условий обеспечения надежности турбины.

Технологическая схема системы промперегрева АЭС

Технологическая схема СПП системы промперегрева паровой турбины К-220-44-3 представлена на рисунке 1 [3, 4]. Отработавший в цилиндре высокого давления (ЦВД) пар по двум "холодным" ресиверам подается в верхние части 2-х вертикальных цилиндрических сосудов - сепараторов-пароперегревателей. В СПП пар следует сначала сверху вниз, проходя последовательно сепарационную часть, перегревательную часть 1-ой ступени, затем у дна сосуда меняет направление и, следуя снизу вверх, проходит перегревательную часть 2-ой ступени.

На выходе из СПП установлены стопорные заслонки RB11,12 (51, 52)S02, управляемые системой регулирования турбины. После стопорных заслонок пар по "горячим" ресиверам параллельно подается в ЦНД-1 и ЦНД-2 турбины. Отсепарированная влага из СПП по двум трубопроводам Ду200 сливается в сепаратосборник, общий для обоих СПП. Из сепаратосборника сепарат по трубопроводу Ду250 через регулятор уровня RN21 (61)S02 сливается в ПНД-3.

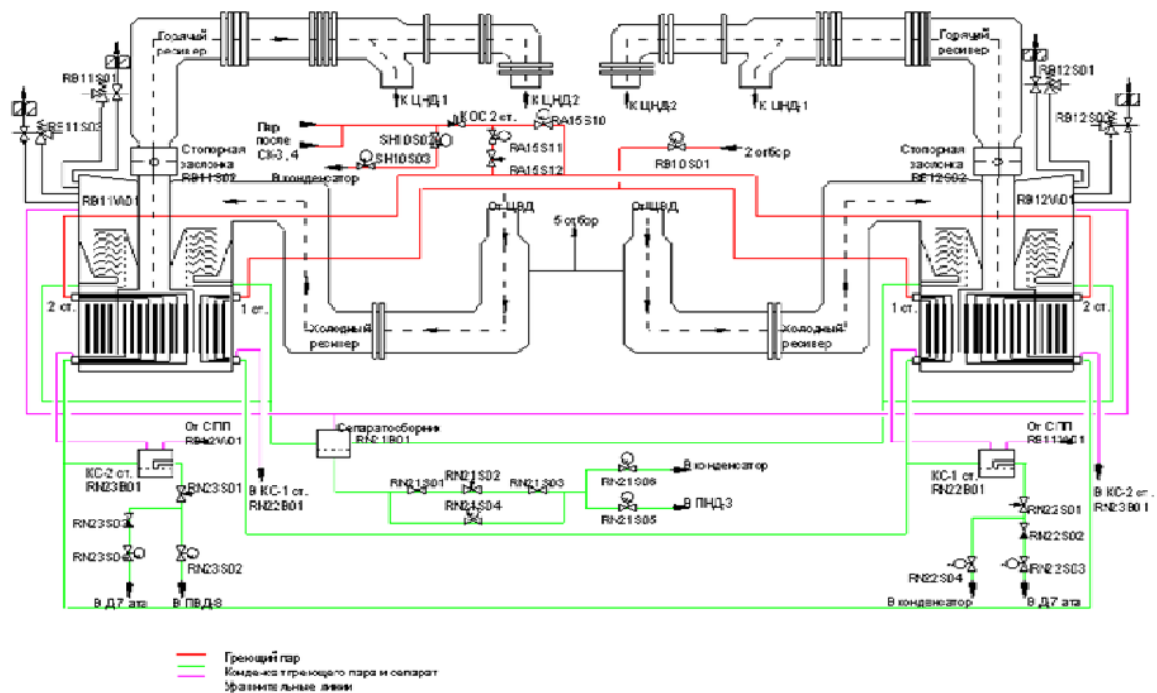


Рис.1. Технологическая схема системы промперегрева

Электроприводная запорная задвижка RN21(61)S04 Ду250 на байпасае регулятора уровня используется в открытом состоянии при ремонте регулятора уровня в сепараторе, а также открывается при повышении уровня в нем до 350 мм.

При низких нагрузках на турбине (давление за ЦВД менее $0,5 \text{ кгс/см}^2$) сепарат сливается в конденсатор, при повышении этого давления свыше $0,5 \text{ кгс/см}^2$ оператор переводит подачу сепарата в подогреватель низкого давления № 3 (ПНД-3), открывая запорную арматуру RN21(61)S05 и закрывая RN21(61)S06.

Греющий пар на 1-ю ступень промперегрева берется из паропровода 2 отбора турбины после клапана обратного сбросного (КОС). Пар, проходя через отключающую арматуру RB10 (50)S01, по разветвляющемуся на 4 нитки паропроводу, поступает в верхние паровые камеры СПП, расположенные диаметрально противоположно относительно сосуда и вдоль оси турбины. Из нижних конденсатных камер, расположенных аналогично паровым, конденсат греющего пара по четырем трубопроводам поступает в конденсатосборник 1-ой ступени. Для того, чтобы греющий пар отдал в пароперегревателе свое тепло полностью, он должен сконденсироваться. Поэтому нельзя допускать выхода про-

летного пара из конденсатосборника. На трубопроводе после конденсатосборника установлен регулятор уровня RN22 (62)S01, поддерживающий в нем номинальный уровень, необходимый для предотвращения пролетного пара.

Нормально конденсат греющего пара должен сливаться в деаэрационный бак по трубопроводу Ду200, который после запорной арматуры RN22 (62)S03 врезается в трубопровод Ду400 конденсата греющего пара подогревателя высокого давления (ПВД).

При снижении нагрузки на турбине и понижении давления во втором отборе менее 8 кгс/см^2 блокировкой производится переключение сброса конденсата на конденсатор турбины через запорную арматуру RN22 (62)S04 и трубопровод Ду200, задвижка RN22 (62)S03 закрывается. При повышении давления выше 8 кгс/см^2 блокировка в обратную сторону не работает.

Во избежание попадания среды из деаэраатора в трубопроводы 1-ой ступени СПП при резком сбросе нагрузки турбиной, служит обратный клапан RN22 (62)S02, установленный перед задвижкой RN22 (62)S03.

Греющий пар на 2-ю ступень промперегрева отбирается двумя нитками Ду150 из паропроводов между стопорными клапанами № 3 и 4 и верхними регулирующими клапанами. Затем эти два паропровода объединяются в один Ду250, на

котором установлен КОС, после которого установлена отключающая 2-ю ступень промперегрева запорная задвижка RA15 (56)S10. У этой задвижки предусмотрен байпас с запорной арматурой RA15 (56)S11 и регулирующим клапаном RA15 (56)S12, который используется оператором в качестве регулятора температуры пара перед ЦНД.

Далее греющий пар, по разветвляющемуся на 4 нитки Ду100 паропроводу, поступает в верхние паровые камеры СПП, расположенные диаметрально противоположно относительно сосуда и поперек оси турбины.

Из нижних конденсатных камер, расположенных аналогично паровым, конденсат греющего пара по 4 трубопроводам Ду100 поступает в конденсатосборник 2 ступени.

Нормально после конденсатосборника, конденсат по трубопроводу Ду200 через регулирующий клапан RN23 (63)S01 должен подаваться в ПВД-8, через запорную арматуру RN23 (63)S02. При отключении группы ПВД задвижка RN23 (63)S02 по блокировке закрывается, а задвижка на сливе из 2 ступени СПП в деаэратор RN23 (63)S04 открывается.

Во избежание попадания среды из деаэратора в трубопроводы 2 ступени СПП при резком сбросе турбиной нагрузки, служит обратный клапан RN23 (63)S03, установленный перед задвижкой RN23 (63)S04.

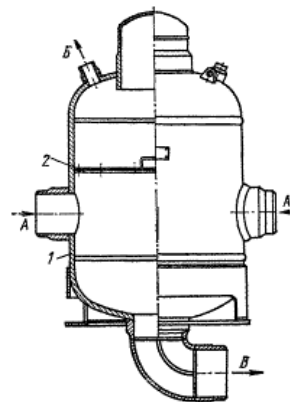
После нее конденсат по отдельному трубопроводу может подаваться на верхнюю площадку деаэратора, где через 2 нитки с установленными в них подпорными шайбами объединяется с трубопроводами греющего пара ПВД и 1 ступени промперегрева.

Конструкция конденсатосборников первой и второй ступеней (КС-1, КС-2) показана на рисунке 2 [5]. Данные устройства представляют собой вертикальные цилиндрические сварные сосуды, основными узлами которых являются:

- *корпус*, состоящий из обечайки и приваренных к ней крышки и днища. На обечайке расположены два патрубка для подвода конденсата греющего пара. В днище вварен патрубок для отвода конденсата из конденсатосборника. В крышке расположены патрубок для отвода неконденсирующихся газов. Для доступа внутрь при проведении ремонтных работ в крышке выполнен люк-лаз;
- *горизонтальная сетка-успокоитель*, предотвращающая колебания уровня в КС, которая расположена (по высоте) между подводящими патрубками и нормальным

уровнем воды в КС;

- *опора*, представляющая собой юбку с приварным опорным кольцом и системой укрепляющих ребер.



- 1- корпус; 2 - сетка-успокоитель; А - подвод конденсата греющего пара;
Б – отвод неконденсирующихся газов; В – отвод конденсата греющего пара.

Рис.2. Схема конденсатосборника СПП.

Исходя из конструктивного исполнения конденсатосборника СПП, его можно рассматривать как бак с подачей и отводом конденсата греющего пара. Задача регулирования данного объекта заключается в приведении в соответствие расходов на притоке и на стоке с тем, чтобы уровень оставался неизменным, определяющим будет процесс накопления среды в резервуаре (в соответствии с законом сохранения массы) [6].

Математическое моделирование САР уровня конденсата в конденсатосборнике СПП на базе нечеткой логики в среде SimInTech

САР на базе нечеткой логики представляет собой интеллектуальную систему, решающую задачи классической теории управления, но с тем отличием, что принцип ее работы реализует алгоритм нечеткой логики и позволяет использовать лингвистические переменные. Каждая лингвистическая переменная характеризуется набором термов. Каждый терм описывается своей функцией принадлежности $\mu_i(x)$, которая может принимать значения от 0 до 1.

Обработка входных данных в САР с нечеткой логикой выполняется поэтапно, следующим образом [7]:

- фаззификация входных переменных. Текущие значения входных переменных x в

блоке нечеткой логики преобразуются в логические переменные, вычисляются значения функции принадлежности $\mu_i(x)$ каждого терма;

- активизация заключений правил нечеткой логики. Вычисление степени истинности для каждого правила;
- аккумуляция заключений для каждой лингвистической переменной. Заключение из каждого правила собираются вместе для каждой лингвистической переменной;
- дефаззификация выходных переменных. Результат нечеткого вывода преобразуется в четкое число.

Модель САР уровня в конденсатосборнике СПП была реализована в среде динамического моделирования SimInTech [8]. Структурная схема модели, выполняющей алгоритм нечеткого вывода, представлена на рисунке 3.

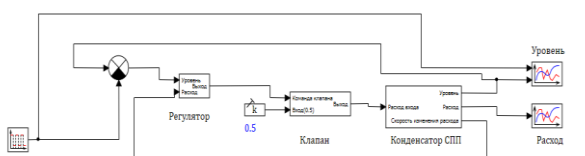


Рис.3. Общая схема модели САР уровня в конденсатосборнике СПП.

В качестве задающего устройства в модели САР используется блок «меандр», который выдает заданное значение уровня в конденсатосборнике СПП, изменяющееся с частотой 20 секунд в пределах 1.4...0,2 м и обратно. Заданное значение сравнивается в блоке сравнения с текущим значением уровня из блока «конденсатор СПП», результат разности двух уровней поступает на один из входов блока регулятора.

На второй вход приходит сигнал по скорости изменения уровня в конденсатосборнике СПП. В самом блоке регулятора рассчитывается управляющее воздействие по правилам нечеткой логики и затем, регулятор выдает команду управления клапаном.

Общая модель САР уровня в конденсатосборнике включает в себя три субмодели: регулятор, клапан и объект регулирования (конденсатосборник СПП).

Структурная схема регулятора уровня, управляемого нечеткой логикой представлена на рисунке 4.

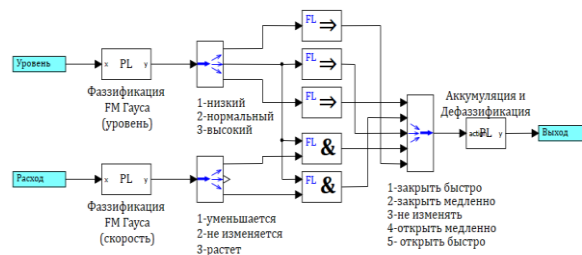


Рис.4. Субмодель регулятора на базе нечеткой логики.

Субмодель регулятора содержит следующие входные лингвистические переменные: уровень и изменение уровня, которые в блоке фаззификации преобразуются в логические переменные. Термы для данных переменных: низкий, нормальный, высокий и уменьшается, не изменяется, растет. Регулятор выдает лингвистическую переменную - команду клапана, которая в свою очередь будет иметь следующие термы: закрыть быстро; закрыть медленно; не изменять; открыть медленно; открыть быстро.

База правил для управления регулирующим клапаном имеет вид:

1. Если уровень высокий, то команда клапана «закрывать быстро».
2. Если уровень нормальный, то команда клапана «не изменять».
3. Если уровень низкий, то команда клапана «открывать быстро».
4. Если уровень нормальный и изменение уровня уменьшается, то команда клапана «открывать медленно».
5. Если уровень нормальный и изменение уровня увеличивается, то команда клапана «закрывать медленно».

Для каждого правила рассчитывается степень истинности: для правил 1..3 равна величине функции принадлежности соответствующего терма; для правил 4 и 5 зависит от двух входных переменных, соединенных логическим «и». Таким образом, выходная переменная имеет пять термов, которые передаются в виде вектора на вход блока демультиплексора. Далее, в блоке регулятора «Аккумуляция и дефаззификация» рассчитывается значение выходной переменной (команда клапана), которая является входной лингвистической переменной для субмодели «Клапан» (рис. 5)

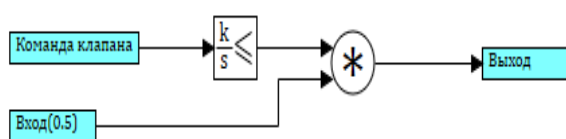


Рис.5. Схема субмодели клапана.

Регулирующий клапан управляет расходом, для чего задается номинальный расход, равный 0.5 м³/с. Управляющее воздействие - это скорость закрытия-открытия клапана, после интегрирования которой, получается значение, характеризующее положение регулирующего клапана: число от 0 (клапан закрыт - расход равен 0) до 1 (расход равен номинальному).

Таким образом, степенью открытия регулирующего клапана производится изменение расхода конденсата на стоке конденсатосборника СПП и, таким образом, поддерживается заданный уровень. Зависимость расхода от положения клапана - линейная.

При моделировании субмодели конденсатосборника СПП в качестве расчетных принимались следующие параметры бака: высота – 1,8 м; диаметр бака – 0,960 м; диаметр выходного отверстия для отвода конденсата греющего пара – 0,250 м.

Динамика бака описывается следующими уравнениями:

$$\frac{dV}{dt} = \text{rate} - \text{outrate};$$

$$\text{outrate} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \cdot \text{outarea};$$

$$h = \frac{V}{\text{area}};$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{\text{rate} - \text{outrate}}{\text{area}},$$

где V - объем бака, м³; rate - расход поступающий в бак, м³/с; outrate - расход из бака м³/с; h - уровень в баке, м; area - площадь сечения бака; outarea - площадь сечения выходной трубы, $\text{outarea} = 0,05$ м²; g - ускорение свободного падения, $g = 9.81$ м/с².

Структурная схема субмодели конденсатосборника СПП представлена на рисунке 6.

Структура субмодели конденсатосборника СПП включает программный блок, в который записаны уравнения динамики данного объекта управления (рис. 7).

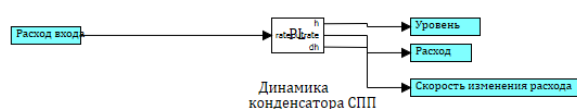


Рис.6. Схема субмодели конденсатосборника СПП.

```

1 {Расчет утечки из конденсатора СПП пропорционально давлению}
- input rate;
- init V=0;
- g=9.8
- h=V/area;
- outrate=sqrt(2*g*h)*outarea;
- {Расчет изменения объема и уровня в конденсаторе СПП}
- V'=rate-outrate;
- dh=(rate-outrate)/area;
10 output h, outrate, dh;

```

Рис.7. Фрагмент программы расчета динамического режима в конденсатосборнике СПП.

Результаты расчета общей модели САР уровня в конденсатосборнике СПП показаны на рисунке 8. Полученные графики демонстрируют изменения уровня в конденсатосборнике СПП. Из графиков видно, что текущее значение уровня, поддерживаемое регулятором с нечеткой логикой, полностью совпадает с заданным значением.

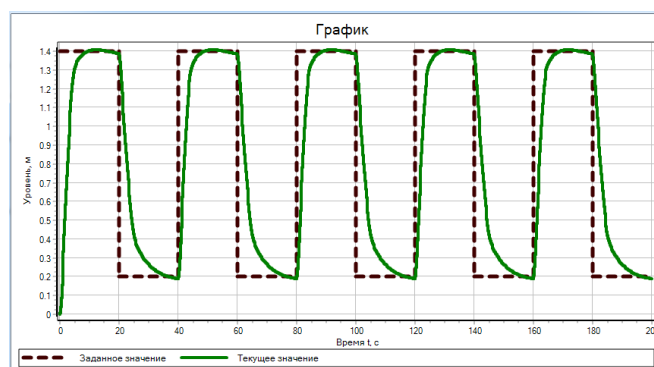


Рис.9. График изменения уровня в конденсатосборнике СПП при работе регулятора на базе нечеткой логики.

Представленная математическая модель уровня в конденсатосборнике СПП реализует принцип фаззи-управления, который эффективен как средство приближенной адаптации в установках с изменяющимися параметрами. Регулирование технологических параметров в подобных установках осуществляется цифровыми регуляторами с элементами «фаззирования» (ЭФР). В ЭФР производится окончательное вычисление рассогласования, как разности текущей алгебраической суммы входных величин и

программного заданного значения, сформированного с учетом требуемой поправки и необходимостью включения. Цифровые регуляторы с фаззи-управлением могут быть реализованы на различных технических средствах, в данной статье, в качестве примера, рассмотрена структура регулятора уровня в конденсатосборнике СПП базе технических средств автоматизации ТСА 2002.

Структурная схема САР уровня конденсата в конденсатосборнике СПП

Вариант структурной схемы автоматической системы регулирования, построенной на базе цифрового регулятора, входящего в программно-алгоритмическое обеспечение АСУТ-500М изображен на рисунке 3 [9].

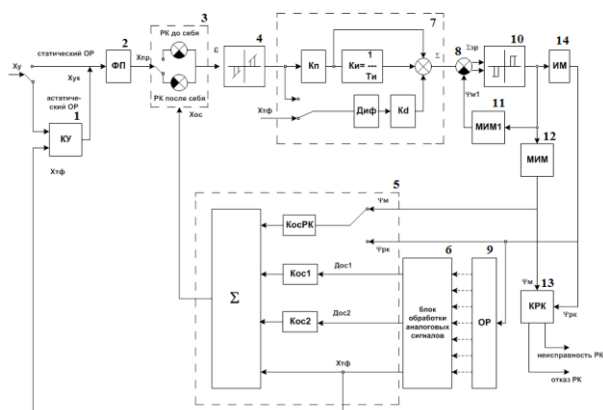


Рис.3. Структурная схема САР с цифровым регулятором.

На структурной схеме САР использованы следующие обозначения: 1 – корректор уставки (КУ); 2 – блок формирования программного значения (ФП); 3, 8 – формирователи рассогласования; 4 – формирователь зоны нечувствительности; 5 – формирователь обратной связи; 6 – блок обработки аналоговых сигналов; 7 – формирователь закона регулирования; 9 – объект регулирования; 10 – релейный элемент; 11, 12 – модели исполнительного механизма; 13 – блок контроля регулирующего клапана; 14 – исполнительный механизм; Σ – сумматор входных сигналов; $\frac{1}{T_n}$ – блоки масштабирования входных сигналов;

K_p, K_d – динамические звенья, формирующие закон регулирования.

Корректор уставки (1) входит в состав регулятора, воздействующего на астатический объ-

ект, и обеспечивает автоматическую компенсацию статической ошибки регулирования. Формирователь программы (2) позволяет безударно включить регулятор и осуществляет изменение программного значения до уровня уставки. В зависимости от способа регулирования («до себя» или «после себя») в блоке (3) определяется рассогласование между программным значением $X_{пр}$ и величиной обратной связи регулятора $X_{ос}$.

Положительное рассогласование вызывает формирование положительной П – части, увеличение интегральной составляющей и выдачу команд на открытие регулирующего клапана.

Отрицательное рассогласование вызывает формирование отрицательной П – части, уменьшение интегральной составляющей и формирование команд на закрытие регулирующего клапана.

Формирователь зоны нечувствительности (4) блокирует выдачу команд управления на регулирующий орган при величине рассогласования, не превышающей величины зоны нечувствительности с учетом зоны возврата.

Формирователь обратной связи (5) в зависимости от типа объекта регулирования обеспечивает формирование сложной обратной связи, учитывающей величину регулируемого параметра, положение регулирующего клапана и корректирующие параметры, что даёт возможность построить одноимпульсную, двухимпульсную и трехимпульсную схемы регулирования.

Наличие составляющих в обратной связи определяется не нулевыми значениями коэффициентов при том или ином параметре, входящем в обратную связь.

Для астатических объектов с целью повышения устойчивости работы регулятора в обратную связь вводится сигнал от датчика положения регулирующего клапана, который в случае его неисправности автоматически безударно заменяется моделируемым значением положения клапана.

Сигналы, поступающие от объекта регулирования (9) и обеспечивающие формирование обратной связи, могут проходить через блок обработки аналоговых сигналов (6), обеспечивающий их дополнительную фильтрацию.

Формирователь (7) обеспечивает формирование суммарного управляющего воздействия в соответствии с П-, ПИ-, ПИД- законами регулирования. Выбор закона регулирования осуществляется путем задания ненулевого коэффициента при той или иной его составляющей. Причем

дифференциальная составляющая может формироваться либо по текущему значению регулируемого параметра, либо по величине рассогласования.

Формирователь рассогласования (8), релейный элемент (10), а также модель исполнительного механизма (11) осуществляют преобразование суммарного управляющего воздействия в импульсную последовательность, поступающую на исполнительный механизм (14).

Исполнительный механизм включается и перемещается с постоянной скоростью в сторону ликвидации рассогласования при: $|\Sigma - \Psi_{m1}| > \Delta$, где Δ – значение зоны нечувствительности.

Перемещение исполнительного механизма передается в виде сигнала обратной связи Ψ_{m1} , уменьшая результирующий сигнал $\Sigma_{зр} = \Sigma - \Psi_{m1}$, воздействующий на релейный элемент (10). При $|\Sigma_{зр}| < \sigma$, где σ – значение зоны возврата, исполнительный механизм отключается. Таким образом, при каждом изменении суммарного управляющего воздействия $|\Sigma_{зр}| > \Delta$ исполнительный механизм перемещается, ликвидируя с точностью $|\Sigma_{зр}| < \sigma$ отклонение от заданного значения.

Модели исполнительного механизма (11 и 12) представляют собой интегральные звенья, на входы которых поступают те же управляющие сигналы, что и на исполнительный механизм (14). Изменение положения моделей производится при наличии команд на открытие или закрытие регулирующего клапана с постоянной скоростью, равной скорости перемещения реального клапана. Кроме того, модели Ψ_{m1} и Ψ_m исполнительного механизма (14) учитывают его люфты, возникающие при смене направления выдачи команд.

Модель (11) исполнительного механизма, как указывалось выше, входит в узел формирования серии импульсов на исполнительный механизм (14) и обеспечивает при нулевом рассогласовании компенсацию интегральной составляющей закона регулирования. Диапазон изменения выходного сигнала Ψ_{m1} модели (11) составляет от минус 90 до 90 %. При включении регулятора с целью обеспечения безударности, модели (11) и интегральной составляющей закона регулирования присваивается нулевое значение.

Модель (12) позволяет обеспечить контроль работоспособности регулирующего клапана путем сравнения сигналов от реального датчика положения клапана и модели. Диапазон изменения выходного сигнала Ψ_m модели (12) от 0 до 100 %. При включении регулятора в работу модели

присваивается значение положения регулирующего клапана.

Блок контроля (13) осуществляет контроль исправности регулирующего клапана путем сравнения моделируемого положения Ψ_m и показаний реального датчика положения $\Psi_{рк}$, а также путем анализа сигналов от конечных выключателей. Сигнал «Несоответствие РК» формируется при наличии любого из условий:

- отклонение действительного положения РК от моделируемого превышает заданную величину в течение заданной выдержки времени;
- закрытое состояние РК и его положение по указателю положения (УП) больше заданной величины;
- открытое состояние РК и его положение по УП меньше заданной величины.

При отсутствии сигналов от конечных выключателей формируется сигнал «Отказ РК» (отсутствие питания регулирующего клапана).

Перемещение регулирующего органа по команде, сформированной в блоке (14), осуществляет исполнительный механизм за счет усилия от энергии внешнего источника. Далее регулирующий орган передает воздействие регулятора на участок технологического процесса, управляемый САР, поддерживающей или улучшающей функционирование управляемого объекта.

Заключение

Снижение влагосодержания в проточной части турбин, работающих на насыщенном паре, путем промежуточной сепарации и перегрева пара позволяет повысить надежность и экономичность турбоагрегатов.

Процессы, происходящие в СПП, специально не регулируются, но для защиты корпуса аппарата при эксплуатации от повышения давления в нем установлены мембранные предохранительные устройства. Количество влаги, которая отделяется в сепараторе, определяется только расходом пара через СПП. Сепарат и конденсат, образующие в СПП, накапливаются в сепараторных сборниках и конденсатосборниках, собственно в них и поддерживается уровень цифровыми регуляторами и таким образом осуществляется регулирование СПП. Цифровые регуляторы для поддержания уровня в сепараторных сборниках и конденсатосборниках СПП могут быть реализованы на различных технических средствах. В данной статье дана краткая характеристика регулятору уровня в конденсатосборнике СПП, входящему в программно-алгоритмическое обеспечение

АСУТ-500М. Регулятор работает по принципу фаззи-управления и в своем составе имеет элемент «фаззирования». Для наглядного представления регулятора в работе было выполнено математическое моделирование САР с нечеткой логикой в среде SimInTech.

Список литературы

1. Часть 2// Системы турбинного отделения.— Балаково: БАЭС, ЦПП. — 2000.— 382 с.
2. URL:https://ozlib.com/863690/tehnika/sistema_promezhutochnogo_peregrevaya_para_turbine_1000_601500#274 (дата обращения: 27.01.2022).
3. Система промежуточного перегрева пара турбоагрегата К-220-44-3. Учебное пособие — Кольская АЭС. — 2000.— 28 с.
4. Инструкция по эксплуатации систем тепловой автоматики турбинного цеха Энергоблока № 3,4.№ 3,4-04-22ИЭ-11. — 117 с.
5. URL:http://reactors.narod.ru/rbmk/12_ssh.htm (дата обращения: 27.01.2022).
6. Демченко В.О. Автоматизация та моделювання технологічних процесів АЕС та ТЕС. — Одеса: Астроприн. — 2001. — 308 с.
7. URL:https://help.simintech.ru/index.html#nachalo_raboty/laboratornye_raboty_organizacii/laboratornye_raboty_MGTU/DAT_sozdanie_sistemy_upravleniya_na_baze_nechetkoi_logiki.html (дата обращения: 27.01.2022).
8. Карташов Б.А., Шабаетв Е.А., Козлов О.С., Щекатуров А.М. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech: Практикум по моделированию систем автоматического регулирования. — М.: ДМК Прогресс, 2017. — 424 с.
9. Инструкция по эксплуатации систем автоматического регулирования оборудования машзала 5 блока НВ АЭС, реализованных на аппаратуре АСУТ-500М № 5.5.САР.АСУТ-500М.ИЭ.

References

1. Chast 2// Sistemi turbinного otdelenia [*The Systems of Turbine Room*]. - Balakovo, 2000. —382 p.
2. URL:https://ozlib.com/863690/tehnika/sistema_promezhutochnogo_peregrevaya_para_turbine_1000_601500#274 (application date: 27.01.2022).
3. Sistema promezhutochnogo peregreva para turboagregata K-220-44-3. Uchebnoe posobie [*Steam Intermediate Overheating System in the turbine K-220-44-3.Guide book*]- Kolskaya NPP, 2000. —28 p.
4. Instruktciya po ekspluatatsii sistem teplovoi avtomatiki turbinного tsekha Energbloki N 3, 4 № 3,4-04-22IE-11[*User Manual of Automatic Heat Systems in the Turbine Room of Power Units N 3,*

4 № 3,4-04-22UM-11] — 117 p.

5. URL:http://reactors.narod.ru/rbmk/12_ssh.htm (application date: 27.01.2022).
6. Demchenko V.O. *Avtomatizatsiya i modelirovanie tekhnologicheskikh protsesov AES i TES. [Automation and modeling of technological processes of NPP and TPP]*. Odessa, Astroprin, 2001, 308 p.
7. URL:https://help.simintech.ru/index.html#nachalo_raboty/laboratornye_raboty_organizacii/laboratornye_raboty_MGTU/DAT_sozdanie_sistemy_upravleniya_na_baze_nechetkoi_logiki.html (application date: 27.01.2022).
8. Kartashov B.A., Shabaev E.A., Kozlov O.S., Shchekaturov A.M. *Sreda dinamicheskogo modelirovaniya tekhnicheskikh sistem SimInTech: Praktikum po modelirovaniyu sistem avtomaticheskogo regulirovaniya [SimInTech dynamic modeling environment for technical systems: Workshop on automatic control system modeling]*. — M.: DMK Progress, 2017. — 424 p.
9. Instruktciya po ekspluatatsii sistem avtomaticheskogo regulirovaniya oborudovaniya mashzala bloka 5 NV AES, realizovannikh na apparature ASUT-500M № 5.5.SAR. ASUT-500M.IE [*User Manual of automatic control system of equipment in the turbine room of Novovoronezh Power Units N 5, which are implemented on the base of ASUT-500M . № 5.5.ACS.ASUT-500M.UM*].

УДК 681.5.012

Сравнение методов построения логарифмических частотных характеристик (ЛЧХ) разомкнутой системы автоматического управления (САУ) с помощью программ Mathcad 14, Matlab R2020b и ручного способа

Т.Е. Петула, С.А. Слива

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия,
t.evg.petula@gmail.com, sofiasliva4990@gmail.com

Статья поступила 19.05.2022 г.; после доработки 20.05.2022 г.

Аннотация

В качестве исследовательской задачи авторами была определена попытка оценить три метода построения ЛЧХ разомкнутой САУ с помощью Mathcad, Matlab и вручную. По дифференциальным уравнениям исходной САУ скорости вращения электродвигателя разрабатывались функциональная и структурная схемы. В ручном методе характеристика строилась исходя из элементарных множителей частотной функции, а в двух других – программно с помощью кода. На основании сравнения их по абсолютным и относительным погрешностям измерения выявлялось какой из перечисленных методов является наиболее точным и качественным.

Ключевые слова: ЛЧХ, разомкнутая САУ, определение погрешностей, Matlab, Mathcad, фазовый угол.

Comparison of methods for constructing logarithmic frequency characteristics (LFC) of an open-loop automatic control system (ACS) using Mathcad 14, Matlab R2020b and manual method

T.E. Petula, S.A. Sliva

Sevastopol State University, 33 Universitetskaya St., Sevastopol, 299053, Russia,
t.evg.petula@gmail.com, sofiasliva4990@gmail.com

Received 19.05.2022 y.; received in final form 20.05.2022 y.

Abstract

As a research task, the authors determined an attempt to evaluate three methods for constructing LFC of an open ACS using Mathcad, Matlab and manually. According to the differential equations of the original ACS of the speed of rotation of the electric motor, functional and structural diagrams were developed. In the manual method, the characteristic was built on the basis of the elementary factors of the frequency function, and in the other two - programmatically using the code. Based on their comparison by absolute and relative measurement errors, it was revealed which of the listed methods is the most accurate and high-quality.

Keywords: LFC, open-loop control system, determination of errors, Matlab, Mathcad, phase angle.

Введение

Исследование систем автоматического управления – это вид деятельности, сосредоточенный на развитии и совершенствовании управ-

ления в соответствии с непрерывно меняющимися внешними и внутренними условиями.

В условиях подвижности современного производства и общественного устройства регули-

рование обязано находиться в состоянии постоянного развития.

Система автоматического регулирования представляет собой замкнутую автоматическую систему, основанную на принципе управления объектом с применением информации о результатах управления (принцип обратной связи).

Исключительно в случае отрицательной ОС происходит измерение и сопоставление фактического регулируемого параметра объекта $x(t)$ с установленным на данный момент времени $g(t)$, в следствии чего обнаруживается рассогласование $xe(r) = x(t) - g(t)$, которое служит катализатором процесса регулирования, на его основе создается регулирующее воздействие $y(t)$.

Логарифмические частотные характеристики показывают амплитуду выходного сигнала в логарифмических безразмерных величинах и зависимость разницы фаз выходного и входного сигналов.

Постановка задачи

В статье необходимо рассмотреть исходную САР скорости вращения электродвигателя, построить функциональную и структурную схемы, получить выражение частной функции ЛЧХ и изобразить характеристику, сравнить полученные асимптоты и определить недостатки методов построения.

Описание исследования

Рассмотрим САР скорости вращения электродвигателя, имеющего функциональную схему, изображенную на рис. 1 [1].

Дифференциальные уравнения элементов:

- электрический контур (ЭК)

$$U_y(t) = U_0(t) - U_{ТГ}(t);$$

- усилитель (У)

$$U_v(t) = K_1 U_y(t);$$

- генератор (Г)

$$T_2 \frac{dU_{Г}(t)}{dt} + U_{Г}(t) = K_2 U_v(t);$$

- электродвигатель (ЭД)

$$T_0^2 \frac{d^2 \omega(t)}{dt^2} + T_1 \frac{d\omega(t)}{dt} + \omega(t) = K_3 U_{Г}(t) - K_4 M(t);$$

- тахогенератор (ТГ)

$$T_3 \frac{dU_{ТГ}(t)}{dt} = K_5 \omega(t);$$

Параметры элементов САР:

$$K_1=12,5; K_2=4; K_3=1; K_4=0,5; K_5=0,2; T_0=0,1; T_1=0,25; T_2=12,5; T_3=2.$$

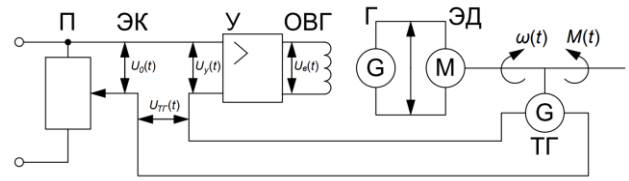


Рис. 1 Функциональная схема САР скорости вращения электродвигателя

Назначение САР – стабилизация частоты вращения электродвигателя $\omega(t)$, то есть поддержание постоянным значение этой величины в соответствии с заданным значением.

Объектом регулирования является электродвигатель (ЭД), вал которого приводит в движение какую-либо нагрузку.

Регулируемый параметр – скорость вращения вала электродвигателя $\omega(t)$, величина которой должна поддерживаться постоянной.

Задающим воздействием САР, определяющим скорость вращения вала электродвигателя, является напряжение $U_0(t)$ на выходе потенциометра (П).

Отклонение скорости вращения вала электродвигателя от заданного значения вызывается возмущающим воздействием – моментом нагрузки на валу $M(t)$.

Генератор (Г) выступает в качестве исполнительного механизма и регулирующего органа.

Скорость вращения электродвигателя $\omega(t)$ задается установкой потенциометра в определенное фиксированное положение, которому соответствует напряжение $U_0(t)$. Напряжение $U_{ТГ}(t)$, вырабатываемое тахогенератором, механически соединенным с валом электродвигателя, соответствует фактической (текущей) скорости вращения вала.

В случае отклонения фактической скорости вращения вала электродвигателя от заданной, при изменении момента нагрузки $M(t)$, меняется величина напряжения $U_{ТГ}(t)$, вырабатываемая тахогенератором, что приводит к рассогласованию по напряжению

$$U_y(t) = U_0(t) - U_{ТГ}(t).$$

Рассогласование усиливается усилителем и подается на обмотку возбуждения генератора (ОВГ), изменяя в ней магнитный поток, напряжение возбуждения генератора $U_v(t)$, напряжение генератора $U_{Г}(t)$, а, следовательно, и скорость вращения электродвигателя $\omega(t)$.

Процесс регулирования будет продолжаться до тех пор, пока фактическая скорость вращения вала электродвигателя не станет равной задан-

ному значению. В этом случае сигнал рассогласования между фактической и заданной скоростями вращения отсутствует, то есть

$$U_0(t) - U_{\text{ТР}}(t) = 0.$$

Рассматриваемая САР работает на принципе регулирования по отклонению фактического значения регулируемого параметра $\omega(t)$ от заданного $U_0(t)$. САР является системой стабилизации скорости вращения вала электродвигателя.

Структурная схема САР, построенная по функциональной схеме САР скорости вращения электродвигателя представлена на рис. 2.

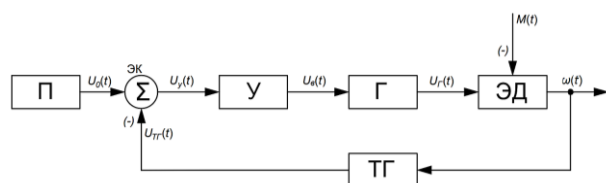


Рис.2 Структурная схема САР скорости вращения электродвигателя

Логарифмическими частотными характеристиками (ЛЧХ) называются амплитудная и фазовая частотные характеристики (звена, элемента, системы), построенные в логарифмической координатной сетке с использованием логарифмических единиц и масштабов [2].

Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика (ЛАЧХ) представляет собой зависимость модуля L частотной функции, выраженного в логарифмических единицах (дециБелах), от логарифма частоты

$$L = L(\lg \omega).$$

Бел является логарифмической единицей отношения мощностей N и равен десятичному логарифму отношения двух мощностей, отличающихся одна от другой в 10 раз

$$\lg \frac{N_2}{N_1} = \lg 10 = 1 \text{Б.}$$

ДециБел (дБ) – дольная единица, равная 0,1 Бела или 1 Бел = 10 дециБел. Поэтому отношение двух мощностей, выраженное в дециБелах

$$L = 10 \lg \frac{N_2}{N_1} \text{ дБ.}$$

При гармонических колебаниях отношение мощностей колебаний пропорционально отношению квадратов амплитуд

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{B^2}{A^2},$$

где B – амплитуда выходных колебаний;

A – амплитуда входных колебаний;

$$\frac{B}{A} = r.$$

Поэтому модуль частотной функции в дециБелах (дБ) определяется выражением

$$L = 10 \cdot \lg r^2 = 20 \cdot \lg r, \text{ дБ,}$$

где $r = \text{mod } W(j\omega)$ – модуль частотной функции, определяющий отношение амплитуды выходных к амплитуде входных установившихся гармонических колебаний.

Уравнение ЛАЧХ

$$L(\omega) = 20 \cdot \lg r(\omega) = 20 \times$$

$$\times \lg \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)},$$

где $U(\omega)$ – вещественная частотная характеристика (ВЧХ);

$V(\omega)$ – мнимая частотная характеристика (МЧХ).

Шкала оси ординат ЛАЧХ строится в дБ и для переменной L является равномерной (рис.).

При построении ЛАЧХ нуль $L(\omega)$ соответствует $r(\omega)=1$, а при $L(\omega)<0$ имеем $r(\omega)<1$.

Логарифмическая фазово-частотная характеристика (ЛФЧХ) представляет собой зависимость аргумента φ частотной функции, выраженного в градусах, от логарифма частоты

$$\varphi = \varphi(\lg \omega),$$

где $\varphi = \arg W(j\omega)$ – аргумент частотной функции, определяющий разность фаз выходных и входных установившихся гармонических колебаний.

Уравнение ЛФЧХ

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{V(\omega)}{U(\omega)}.$$

Шкала оси ординат ЛФЧХ строится в градусах и для переменной φ является равномерной (рис.3).

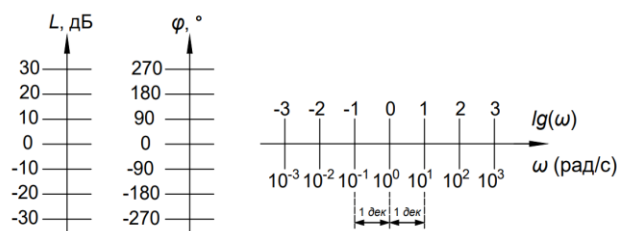


Рис.3 Оси координат для построения логарифмических частотных характеристик

Так как при $\omega=0$ $\lg \omega = -\infty$, то за начальную точку отсчета по оси абсцисс принимают не $\omega=0$, а некоторое минимальное значение частоты ω .

Интервал частот, отличающихся одна от другой в 10 раз, десятичный логарифм отношения которых равен, следовательно, единице, называется декадой.

ЛЧХ позволяют изобразить ограниченным графиком изменение амплитуд в широком диапазоне частот. Кроме того, применение логарифмического масштаба позволяет заменить значи-

тельные участки ЛАЧХ асимптотическими прямыми линиями.

Для построения логарифмических частотных характеристик (ЛЧХ) разомкнутой САР необходимо получить выражение её частотной функции, представить его в виде произведения элементарных множителей, построить ЛЧХ элементарных множителей и просуммировать ординаты.

Выражение частотной функции $W_{раз}(j\omega)$ получается из выражения передаточной функции разомкнутой системы $W_{раз}(S)$ заменой аргумента S на $j\omega$

$$W_{раз}(j\omega) = \frac{5}{j\omega \cdot (12,5j\omega + 1)} \times \frac{1}{(0,01(j\omega)^2 + 0,25j\omega + 1)}$$

Элементарные множители частотной функции:

5 – пропорциональное звено; ЛАЧХ – прямая, параллельная оси абсцисс и отстоящая от нее на $20lg5 = 14$ дБ (L_1); ЛФЧХ – прямая, совпадающая с осью абсцисс (φ_1).

$(j\omega)^{-1}$ – интегрирующее звено; ЛАЧХ – прямая, пересекающая ось $lg\omega$ в точке с абсциссой $\omega = 1$ с⁻¹ и имеющая наклон – 20 дБ/дек (L_2); ЛФЧХ – прямая, параллельная оси абсцисс, соответствующая постоянному фазовому углу -90° (φ_2).

$(12,5j\omega + 1)$ – аperiodическое звено первого порядка; ЛАЧХ – низкочастотная асимптота характеристики, совпадает с осью абсцисс, а высокочастотная – выходит из точки излома

$$\omega_1 = \frac{1}{T_2} = \frac{1}{12,5} = 0,08 \text{ с}^{-1}$$

и имеет наклон -20 дБ/дек (L_3); ЛФЧХ – кривая, фазовый угол которой изменяется от 0 до -90°, симметричная относительно точки с координатами $\omega_1 = 0,08$ с⁻¹, $\varphi = -45^\circ$ (φ_3).

$(0,01(j\omega)^2 + 0,25j\omega + 1)^{-1}$ – аperiodическое звено второго порядка. В случае, когда трехчлен $T_0^2 S^2 + T_1 S + 1$ имеет вещественные корни (при $T_1 \geq 2T_0$), его можно представить в виде произведения

$$(\tau_1 S + 1)(\tau_2 S + 1),$$

где $\tau_1 = -\frac{1}{S_1}$, $\tau_2 = -\frac{1}{S_2}$, а S_1 и S_2 – корни трехчлена.

Трехчлен $0,01S^2 + 0,25S + 1$ имеет вещественные корни $S_1 = -20$, $S_2 = -5$, соответственно

$$\tau_1 = 0,05, \tau_2 = 0,2, \text{ поэтому}$$

$$(0,01(j\omega)^2 + 0,25j\omega + 1)^{-1} = (0,05j\omega + 1)^{-1} \times (0,2j\omega + 1)^{-1}.$$

$(0,05j\omega + 1)^{-1}$ – аperiodическое звено первого порядка; ЛАЧХ – низкочастотная асимптота характеристики совпадает с осью абсцисс, а высокочастотная – выходит из точки излома

$$\omega_2 = \frac{1}{\tau_1} = \frac{1}{0,05} = 20 \text{ с}^{-1}$$

и имеет наклон -20 дБ/дек (L_4); ЛФЧХ – кривая, фазовый угол которой изменяется от 0 до -90°, симметричная относительно точки с координатами $\omega_2 = 20$ с⁻¹, $\varphi = -45^\circ$ (φ_4).

$(0,2j\omega + 1)^{-1}$ – аperiodическое звено первого порядка; ЛАЧХ – низкочастотная асимптота характеристики совпадает с осью абсцисс, а высокочастотная – выходит из точки излома

$$\omega_3 = \frac{1}{\tau_2} = \frac{1}{0,2} = 5 \text{ с}^{-1}$$

и имеет наклон -20 дБ/дек (L_5); ЛФЧХ – кривая, фазовый угол которой изменяется от 0 до -90°, симметричная относительно точки с координатами $\omega_3 = 5$ с⁻¹, $\varphi = -45^\circ$ (φ_5).

Суммируя ординаты ЛАЧХ всех элементарных множителей, получаем асимптотическую ЛАЧХ разомкнутой системы ($L_{раз1}$) в виде ломаной линии с чередующимися наклонами отрезков прямых -20, -40, -60, -80 дБ/дек.

Суммируя ординаты ЛФЧХ элементарных множителей, получаем ЛФЧХ разомкнутой системы ($\varphi_{раз}$), в виде кривой, асимптотами которой являются параллельные прямые $\varphi = -90^\circ$ и $\varphi = -360^\circ$.

Логарифмические частотные характеристики разомкнутой САР изображены на рис. 4.

Частоте среза ЛАЧХ разомкнутой системы $\omega_{ср}$ соответствует фазовый угол $|\Delta\varphi_1| = 225^\circ$, поэтому замкнутая САР неустойчива.

В программе Mathcad произведем повторное построение характеристики. Для этого зададим параметры системы, введем условия для каждого элементарного звена, просуммируем полученные функции и определим интервал частот $\omega = 0,001 \dots 1000$ с шагом 0,004.

ЛЧХ разомкнутой САР в Mathcad представлены на рис. 5.

Кривые характеристик получились более сглаженными. С помощью маркеров графика обозначим точку пересечения $\omega_{ср}$ с ЛФЧХ. Запас устойчивости по фазе $\Delta\varphi$ составил 181° .

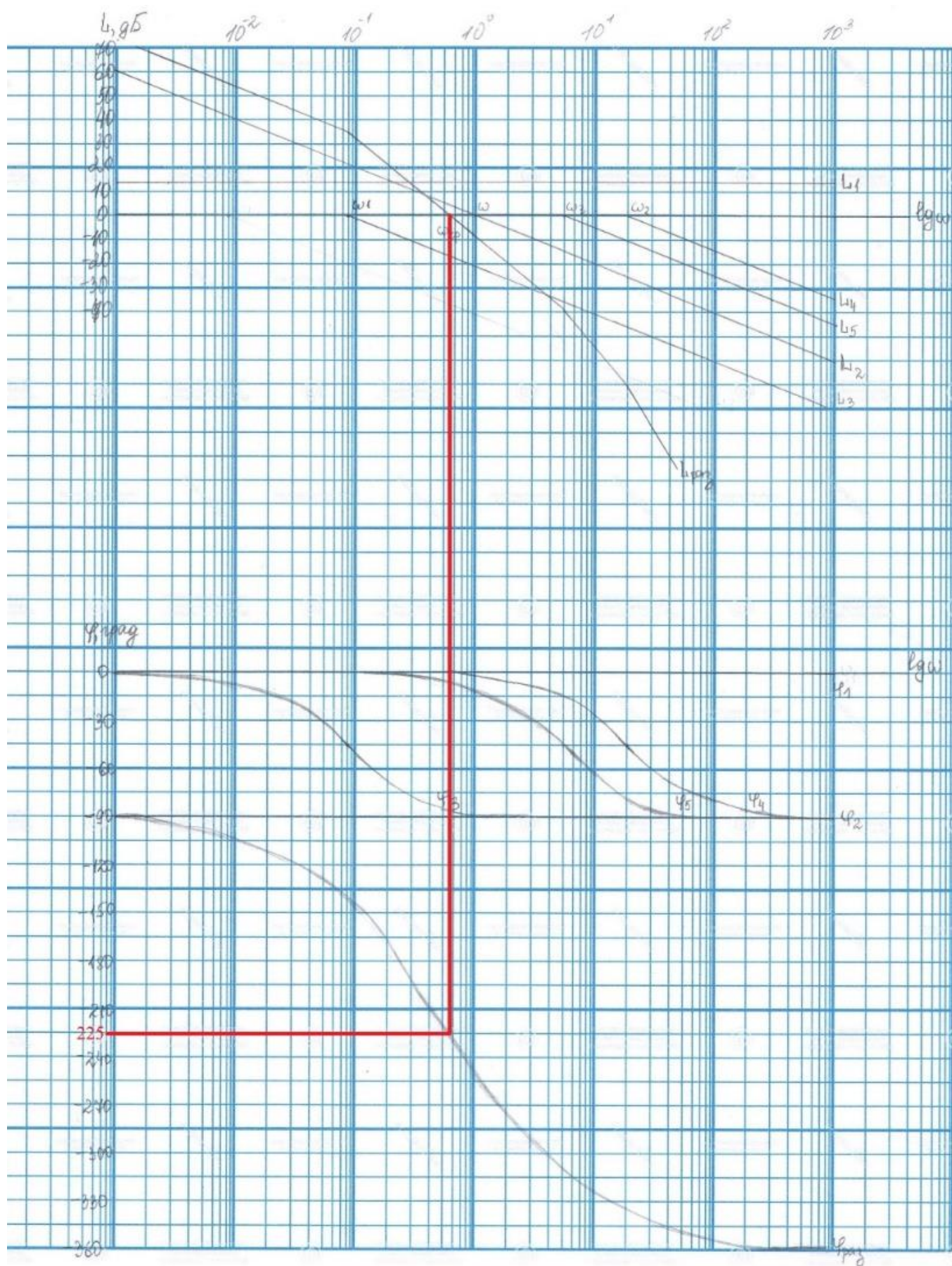


Рис. 4 Логарифмические частотные характеристики разомкнутой САР

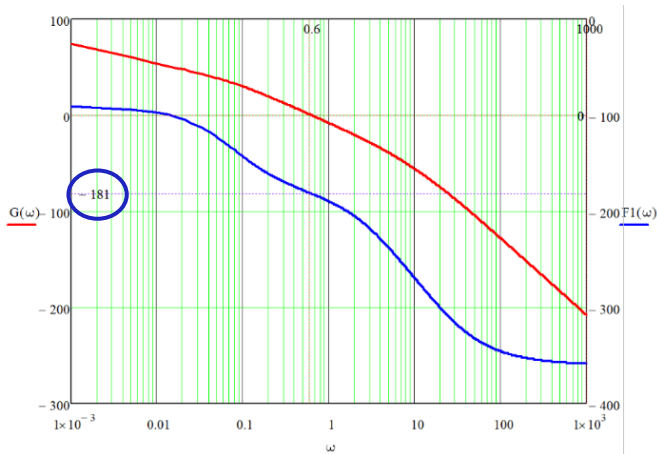


Рис. 5 ЛЧХ разомкнутой САР в Mathcad

Листинг программы в Mathcad:

```

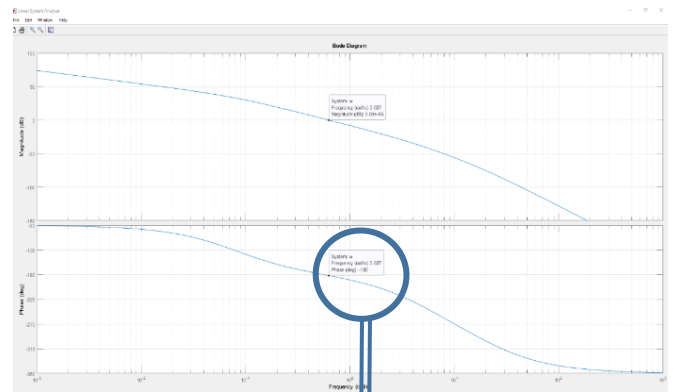
k1:=0.2
k2:=4
k3:=12.5
k4:=1
T1:=2
T2:=12.5
T4:=0.05
T5:=0.2
W1(p):=k1/(T1·p)
W2(p):=k2/(T2·p+1)
W3(p):=k3
W4(p):=k4/(T4·p+1)
W5(p):=1/(T5·p+1)
j:=sqrt(-1)
W1(omega):=k1/(T1·j·omega)
W2(omega):=k2/(T2·j·omega+1)
W35(omega):=k3/(T5·j·omega+1)
W4(omega):=k4/(T4·j·omega+1)
Kp:=k1·k2·k3·k4
G0:=20·log(Kp)
G1a(omega):=if(omega<=1/T1,0,20·log(omega·T1))
G2a(omega):=if(omega<=1/T2,0,20·log(omega·T2))
G3a(omega):=if(omega<=1/T4,0,20·log(omega·T4))
G1a(omega):=if(omega<=1/T5,0,20·log(omega·T5))
Ga(omega):=G0+G1a(omega)+G2a(omega)+G3a(omega)+
+G4a(omega)
G(omega):=20·log(|W1(omega)·W2(omega)·W35(omega)×
×W4(omega)|)
F(omega):=arg(W1(omega))+arg(W2(omega))+
+arg(W35(omega))+arg(W4(omega))
F1(omega):=F(omega)·(180/π)
omega:=0.001,0.005...1000

```

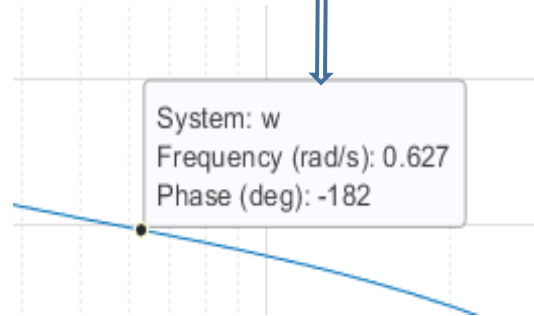
Аналогично поступим и с программой MATLAB. Запускаем введенную программу кнопкой «RUN». Открывается окно анализатора линейных систем (Linear System Analyzer). Загружаем систему. Правой кнопкой мыши открываем меню и выбираем тип графика (plot types)

«bode». В итоге получаем две кривых магнитуды (амплитуды) и фазы. При необходимости включаем сетку.

Результат программы представлен на рис. 6. Запас устойчивости по фазе $\Delta\varphi$ составил 182° .



а)



б)

Рис. 6 а) ЛЧХ разомкнутой САР в MATLAB, б) в увеличенном масштабе

Листинг программы в MATLAB:

```

w=tf([5],[0.125 3.135 12.75 1 0]);
ltview

```

Так как в методе построения характеристик в Mathcad фазовый угол наименьший и наиболее приближен к значению устойчивой системы, выберем его в качестве эталона и вычислим абсолютную и относительную погрешности измерений двух других способов.

Абсолютная погрешность некоторой величины X обозначается ΔX [3]. Она равна разности номинального (полученного при измерении значения X) и ее истинного значения $X_{ист}$.

$X_{ист} = 181^\circ$, $X_1 = 182^\circ$ (MATLAB),

$X_2 = 225^\circ$ (Ручной способ).

$\Delta X_1 = X_1 - X_{ист} = 182^\circ - 181^\circ = 1^\circ$

$\Delta X_2 = X_2 - X_{ист} = 225^\circ - 181^\circ = 44^\circ$

Абсолютная погрешность ΔX указывает тот интервал вокруг измеренного значения ($X \pm \Delta X$), в котором может находиться истинное значение

измеряемой величины.

Относительная погрешность величины X обозначается ε . Она равна отношению абсолютной погрешности ΔX к истинному значению ХИСТ и выражается обычно в процентах

$$\varepsilon = \frac{\Delta X}{X_{\text{ИСТ}}} \cdot 100\%.$$

По аналогии

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta X_1}{X_{\text{ИСТ}}} \cdot 100\% = \frac{1}{181} \cdot 100\% = 0,552\%;$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta X_2}{X_{\text{ИСТ}}} \cdot 100\% = \frac{44}{181} \cdot 100\% = 24,309\%.$$

Подводя итог вышеперечисленному, наименьшую погрешность имеет метод построения в MATLAB. Результат практически не отличается от «эталонного». Об этом говорит относительная погрешность, составляющая меньше 1%. Значение относится к высокому классу точности.

Наибольшую погрешность имеет фазовый угол, полученный из самостоятельно построенного графика, равную 24%, что в 44 раза превышает ε_1 (MATLAB). Результат относится к низкому классу точности.

Большие неточности могут быть связаны с тем, что в данном случае используется асимптотические (приближенные) ЛЧХ. Точную ЛАЧХ звена можно получить, прибавив поправки δ к ординатам асимптотической характеристики. Наибольшее отклонение между точной и асимптотической кривыми имеет место при частоте излома равной частоте излома, определяющей абсциссу точки пересечения асимптот.

Реальные характеристики процесса представляют собой несимметричные кривые.

Также причиной большой ошибки могут служить вычислительные ошибки (ошибки округления).

Ошибки этого типа проявляются из-за дискретной (а не непрерывной) формы представления величин в компьютере [4].

Вычислительные ошибки можно свести к минимуму, продуманно организовывая алгоритмы. Для хранения целых чисел обычно отводится 4 байта памяти, что позволяет представлять целые числа, находящиеся примерно в диапазоне от $-2 \cdot 10^9$ до $2 \cdot 10^9$. В то время как мы ограничиваемся лишь тремя цифрами после запятой.

Немалую роль играет погрешность арифметических действий над приближенными числами. При выполнении операций над приближенными числами можно оценить предельную погрешность результата в зависимости от выполняемой операции. Значение цифры с большей вероятностью будут потеряны в процессе

выполнения арифметических операций.

Заключение

В результате проведенного сравнения трех методов построения ЛЧХ было выяснено:

- Наиболее точные методы – Mathcad и Matlab;
- Наибольшую погрешность в 24% имеет ручной способ;
- Реальные характеристики процесса – несимметричные кривые;
- Недостаток ручного метода – вычислительные ошибки (ошибки округления) и погрешность арифметических действий над приближенными числами.

Список литературы

1. Дикусар Ю.Г. Теория автоматического управления: учеб.-метод. пособие.- Севастополь: СТУЭИП, 2009. – 192 с.: ил.
2. Дикусар Ю.Г. Основы теории линейных аналоговых систем автоматического регулирования: учеб. пособие. – Севастополь: СевГУ, 2015. – 248 с.: ил.
3. НИУ ВШЭ (2016) Физические измерения и обработка их результатов (<https://www.hse.ru>) [цит.11.05.2022].
4. Численные методы в оптике. Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2017 - 84 с.

References

1. Dikugar Yu.G. Theory of automatic control: textbook.-method. allowance. - Sevastopol: SNUYaEiP, 2009. - 192 p.: ill.
2. Dikugar Yu.G. Fundamentals of the theory of linear analog systems of automatic control: textbook. allowance. - Sevastopol: SevGU, 2015. - 248 p.: ill.
3. NRU HSE (2016) Physical measurements and processing of their results (<https://www.hse.ru>) [op. May 11, 2022].
4. Numerical methods in optics. Tutorial. - St. Petersburg: ITMO University, 2017 - 84 p.

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.319.44

Особенности эксплуатации батарей конденсаторов в цеховых электросетях напряжением до 1000 В при наличии высших гармоник

О.М. Крастелёв¹¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, 299015, РФ,
olkrast@gmail.com

Статья поступила 19.05.2022 г.; после доработки 23.05.2022 г.

Аннотация

При эксплуатации конденсаторных батарей цехов промышленных предприятий необходимо учитывать наличие нелинейных потребителей, порождающих высшие гармоники тока и напряжения, а также способных вызвать резонанс токов и напряжений. Для борьбы с этими явлениями используют силовые фильтры, основным элементом которых является индуктивная катушка – реактор. В статье приводится анализ работы батарей конденсаторов при наличии высших гармоник в сети, вызванных наличием нелинейных потребителей (вентильного преобразователя), а также меры по борьбе с высшими гармониками, способными вызвать резонанс токов в сети.

Ключевые слова: конденсаторная батарея, высшие гармоники, резонанс токов и напряжений, реактор.

Features of the operation of capacitor banks in workshops electrical networks with voltage up to 1000 V, if available higher harmonics

O.M. Krastelev¹¹FSAEI HE "The Sevastopol state University", Sevastopol, 299015, RF,
olkrast@gmail.com

Received 19.05.2022 y.; received in final form 23.05.2022 y.

Annotation

When operating capacitor banks of workshops of industrial enterprises, it is necessary to take into account the presence of non-linear consumers that generate higher harmonics of current and voltage, as well as capable of causing resonance of currents and voltages. To combat these phenomena, power filters are used, the main element of which is an inductive coil - a reactor. The article analyzes the operation of capacitor banks in the presence of higher harmonics in the network caused by the presence of non-linear consumers (valve converter), as well as measures to combat higher harmonics that can cause current resonance in the network.

Key words: capacitor bank, higher harmonics, resonance of currents and voltages, reactor.

Введение

Особенностью современных систем электроснабжения крупных промышленных предприятий является наличие нелинейных нагрузок,

приводящим к искажению формы кривых тока и напряжения. К нелинейным нагрузкам относятся вентильные преобразователи, установки электросварки, электродуговые печи, газоразрядные

лампы и силовые трансформаторы.

Появление в сетях высших гармоник тока и напряжения, вследствие наличия нелинейных потребителей приводит к уменьшению надёжности и срока службы электрооборудования, возникновению добавочных потерь в электрических машинах, трансформаторах, батареях конденсаторов, кабелях, неуспешных коммутациях вентиляльных преобразователей, повреждениях конденсаторных батарей вследствие резонанса тока или напряжения [1].

Нелинейные нагрузки работают, как правило, с низким коэффициентом мощности ($\cos\varphi = 0,4 \div 0,8$), поэтому необходимость компенсации реактивной мощности становится очевидной.

Наиболее экономичными средствами компенсации реактивной мощности являются нерегулируемые и регулируемые батареи конденсаторов (БК). Это объясняется их преимуществами перед другими средствами компенсации реактивной мощности.

Однако применение БК ограничивается техническими причинами. При наличии в сети высших гармоник тока и напряжения включение конденсаторов приводит к резонансным явлениям на частотах высших гармоник, что ведет к нарушению нормальной работы БК [3].

При наличии высших гармоник в кривой напряжения, процесс старения диэлектрика конденсаторов протекает более интенсивно, чем при работе с синусоидальным напряжением.

Физико-химические процессы в диэлектрике значительно ускоряются при высоких частотах электрического поля, что обуславливает их старение. Аналогично влияет дополнительный нагрев, вызванный протеканием высших гармоник тока.

При несинусоидальном напряжении на зажимах батареи конденсаторов, в их диэлектрике появляются дополнительные активные потери, обусловленные высшими гармониками. В заводских электросетях подключение батареи конденсаторов производится по следующим схемам [2]:

- 1) непосредственно к шинам подстанции;
- 2) параллельно с реактором для фильтрации гармоник;
- 3) последовательно с реактором, защищающим батарею от проникновения высших гармоник.

При подключении батареи конденсаторов без реактора, потери в диэлектрике можно найти в предположении, что коэффициент диэлектри-

ческих потерь $\tan\delta$ одинаков для высших гармоник до 13-ой включительно:

$$\Delta P_{\Sigma} = \omega C \tan\delta \sum_{v=1}^{13} v U_v^2, \quad (1)$$

где U_v – напряжение v -ой гармоники на шинах после подключения батареи конденсаторов емкостью C .

Батареи конденсаторов могут длительно работать при перегрузке их токами высших гармоник не более чем на 30%; допустимое повышение напряжения составляет 10%. Однако при длительной эксплуатации конденсаторов в этих условиях – срок службы их сокращается. При использовании на промышленных предприятиях конденсаторы периодически оказываются в режиме, близком к резонансу токов на частоте какой-либо из гармоник. Вследствие систематических перегрузок они могут быстро выйти из строя.

Перегрузка происходит, как правило, при возникновении резонансного или близкого к нему режима на частоте какой-либо гармоники, имеющейся в амплитудном спектре напряжения. Резонансные контуры образуются ёмкостью батареи конденсаторов и индуктивностью сети.

Частотные характеристики сети при работе вентильного преобразователя и отключенной батареи конденсаторов

Сущность явлений удобно рассмотреть на примере простой схемы электроснабжения мощного вентильного преобразователя, показанной на рисунке 1(а).

На схеме показаны три основных элемента, участвующих в резонансном процессе: вентильный преобразователь – источник высших гармоник тока и напряжения; питающая сеть, включая все ее элементы (в том числе прочую нагрузку), упрощенно представленная в схеме замещения индуктивно-активным элементом; батарея косинусных конденсаторов (емкостно-активная цепь в схеме замещения).

При отсутствии емкостных элементов (при отключенной БК) частотные характеристики сопротивления питающей сети в точках 1 и 2 (рис.1,б) x_{Σ} и x_{Σ}' линейны; активными сопротивлениями в этом случае можно пренебречь ввиду их малости. Следовательно, глубина коммутационных искажений и величина напряжения отдельных гармоник уменьшаются линейно по мере удаления от точки коммутации (точка 2 на рис. 1,б).

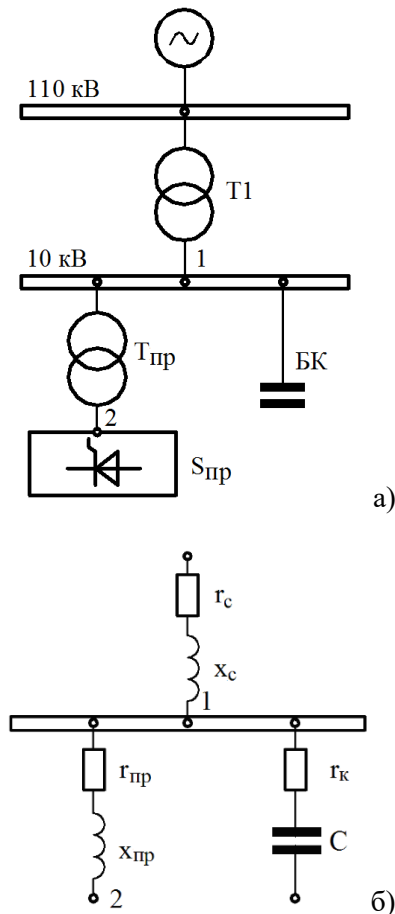


Рис. 1 Однолинейная схема замещения питающей сети с конденсаторными батареями (а) и схема замещения (б)

Глубина коммутационных искажений вентильного преобразователя ΔU_1 пропорциональна величине $x_c/(x_c + x_{пр})$, где x_c - эквивалентное индуктивное сопротивление сети, т. е. сопротивление от условной точки питания бесконечной мощности до исследуемой точки питающей сети; $x_{пр}$ - индуктивное сопротивление цепи преобразователя, т. е. сопротивление от точки коммутации до исследуемой точки сети [5].

Частотные характеристики сети при работе вентильного преобразователя и подключении батареи конденсаторов

Включение батареи конденсаторов резко изменяет линейный характер частотной характеристики питающей сети как в точке 1, так и в точке 2 (рис. 1,б). Причем нелинейность частотной характеристики в значительной степени зависит от добротности элементов питающей сети, т. е. от отношения x_c/r_c .

Нелинейность частотной характеристики питающей сети в точке 1 объясняется тем, что

при включении БК образуется параллельный LC-контур, состоящий из индуктивного сопротивления питающей сети и емкостного сопротивления конденсатора.

При отсутствии в сети емкостных элементов напряжение v -й гармоники на шинах подстанции (рис. 1,б) определяется падением напряжения на сравнительно небольшом индуктивном сопротивлении сети для этой гармоники x_{cv} . В данном случае активным сопротивлением цепи можно пренебречь в силу высоких значений добротности элементов системы $Q = 30-50$ [4].

При подключении батареи конденсаторов к шинам подстанции, питающей мощную вентильную нагрузку, процесс резко меняется. Какое бы ни было значение емкости батареи, всегда найдется такая группа гармоник (назовем ее резонансной группой гармоник), при которых БК вступает в режим резонанса токов (или близкий к нему) с индуктивностью сети. Сопротивление параллельного контура в области резонанса резко увеличивается.

Токи резонансной группы гармоник, генерируемые вентильным преобразователем в сеть, значительно уменьшаются, и можно говорить о том, что напряжения гармоник резонансной группы U_v приложены к БК непосредственно за вычетом малого падения напряжения в преобразовательном трансформаторе.

Следовательно, напряжения гармоник резонансной группы в точке 1 (рис. 1,б) значительно увеличиваются. В то же время емкостное сопротивление батареи конденсаторов уменьшается с увеличением номера гармоники:

$$x_{kv} = 1/v\omega C = x_k/v \quad (2)$$

Это приводит к тому, что через БК протекают значительные токи резонирующих гармоник, соизмеримые, а иногда и значительно превосходящие ток первой гармоники. Перегрузка батарей конденсаторов токами высших гармоник может достигать на практике значительной величины (до 400 %), что приводит к полному выходу ее из строя.

Учитывая, что вентильные преобразователи генерируют в сеть спектр канонических гармоник, начиная с $v=5$ (для шестифазных схем выпрямления), теоретически можно подобрать конденсаторную установку такой мощности, которая вступила бы в параллельный резонанс с индуктивностью цепи при частотах меньше 250 Гц ($v < 5$), и тем самым избежать резонансных явлений и их последствий.

Но этот способ решения не имеет практического смысла, поскольку мощность КУ в этом случае оказывается слишком большой (в ряде

случаев превышающей мощность питающего трансформатора) и неприемлемой для системы электроснабжения (перекомпенсация, возможность возникновения лавины напряжения и т. д.).

Таким образом, непосредственное применение батарей конденсаторов в целях компенсации реактивной мощности в сетях с вентильными нагрузками проблематично. В каждом конкретном случае необходим расчет токовой перегрузки БК резонансной группой гармоник. В некоторых случаях такие расчеты необходимо производить до гармоник достаточно высокого порядка (выше резонансной гармоники), особенно при малых мощностях (емкостях) конденсаторных батарей.

Возникает необходимость борьбы с подобными явлениями. Например, при проектировании систем электроснабжения с совместной работой вентильных преобразователей и батарей конденсаторов – ограничивают величины определённых гармоник, вследствие перегрузок батарей конденсаторов токами высших гармоник.

Защита батарей конденсаторов от высших гармоник

В сетях, питающих нелинейную нагрузку, установка конденсаторов без защиты их от высших гармоник недопустима из-за резонансных явлений (в первую очередь резонанса токов) на высокой частоте [2].

Батареи конденсаторов, предназначенные для компенсации реактивной мощности, для их нормальной работы необходимо защищать реакторами, устанавливаемыми последовательно с конденсаторами (рис. 2).

Величина индуктивного сопротивления реактора должна быть рассчитана так, чтобы в этой цепи создавался резонанс напряжений на частоте, меньшей наименьшей гармоники, возникающей при работе нелинейной нагрузки, т. е. должно выполняться условие:

$$\nu_p \omega L = \frac{1}{\nu_p \omega C}; \nu_p < \nu_{\min} \quad (3)$$

где ν_p - гармоника, на которую необходимо настроить последовательную LC-цепь; $\nu_{\min}$ - минимальная гармоника, возникающая при работе нелинейной нагрузки.

$\nu_{\min} = 5$ для вентильных преобразователей с любой фазностью выпрямления;

$\nu_{\min} = 3$ для дуговых сталеплавильных печей.

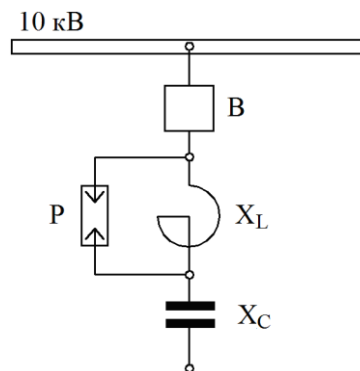


Рис. 2 Однолинейная схема защиты конденсаторной батареи от высших гармоник

Индуктивное сопротивление защитного реактора на частоте 50 Гц определяется из условия:

$$x_p \geq \frac{x_C}{\nu^2} = \frac{U_{БК.ном}^2}{\nu^2 Q_{БК.ном}}, \quad (4)$$

где $Q_{БК.ном}$ - реальная суммарная мощность батареи конденсаторов по данным завода-изготовителя;

$U_{БК.ном}$ - номинальное напряжение батареи конденсаторов;

При неправильной защите конденсаторов могут возникать резонансные явления, обусловленные тем, что цепь, состоящая из последовательного соединения реактора и конденсатора, уменьшает гармоники порядка выше резонансной (имеет индуктивный характер цепи) и увеличивает гармоники порядка ниже резонансной (имеет емкостный характер цепи). Для правильной защиты батареи конденсаторов необходимо, чтобы эта цепь имела индуктивный характер для всех гармоник.

Защита конденсаторов от высших гармоник сталкивается с техническими трудностями из-за малого индуктивного сопротивления существующих бетонных реакторов. Например, для защиты от пятой гармоники батарей мощностью 1000 квар на напряжение 10 кВ необходимо установить последовательно с конденсатором 8 бетонных реакторов, а от третьей - более 20 бетонных реакторов в каждой фазе, что практически невыполнимо. Поэтому для защиты высоковольтных конденсаторов необходимо применять низковольтные реакторы, обладающие большим индуктивным сопротивлением.

Возможность применения низковольтных реакторов обосновывается тем, что в нормальном режиме работы к реактору приложено

напряжение основной частоты:

$$U_{L1} = \frac{1}{v_p^2 - 1} U_1, \quad (5)$$

где U_1 – напряжение сети на основной частоте, приложенное к LC-цепи;

v_p – номер гармоники, на которую настроена цепь.

Общее напряжение на реакторе может быть подсчитано по формуле:

$$U_L = \sqrt{U_{L1}^2 + \sum_{v_{\min}}^{v=n} U_{Lv}^2}, \quad (6)$$

где:

$$U_{Lv} = I_v \cdot \frac{vx_C \cdot v\omega L}{vx_C + v\omega L - 1/v\omega C} \quad (7)$$

I_v – суммарный ток v -й гармоники в питающей сети при отключенной БК;

x_C – индуктивное сопротивление системы;

ωL – индуктивное сопротивление защитного реактора на основной частоте;

$1/\omega C$ – емкостное сопротивление защищаемой батареи конденсаторов на основной частоте.

Для защиты реактора от перенапряжений в момент включения или при пробое конденсатора параллельно с реактором устанавливается разрядник многократного действия (рис. 1.2).

При последовательном соединении реактора и конденсатора автоматически повышается напряжение на БК, в том числе и за счет высших гармоник. В то же время заводы-изготовители конденсаторов гарантируют их надежную работу при номинальном напряжении.

Следовательно, при включении последовательно с конденсатором реактора необходимо выбирать батареи на следующую, большую ступень напряжения, что является экономически неоправданным.

В связи с этим намечается выпуск специальных конденсаторных батарей на повышенное напряжение (например, 7 кВ для сетей 6 кВ), способных надежно работать в сетях с повышенным содержанием высших гармоник, а также в фильтрах высших гармоник.

Общее напряжение на конденсаторе может быть подсчитано по формуле:

$$U_K = \sqrt{U_{K1}^2 + \sum_{v_{\min}}^{v=n} U_{Kv}^2} \leq 1,1 U_{ном}, \quad (8)$$

где U_{K1} – напряжение основной частоты на зажимах конденсатора, которое определяется по

формуле:

$$U_{K1} = U_{1\phi} \frac{v_p^2}{v_p^2 - 1} \quad (9)$$

где $U_{1\phi}$ – фазное напряжение основной частоты на шинах;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение конденсаторной батареи;

U_{Kv} – напряжение v -й гармоники на зажимах конденсатора, которое определяется по формуле:

$$U_{Kv} = I_v \frac{1}{\omega C} \cdot \frac{x_C}{vx_C + v\omega L - 1/v\omega C} \quad (10)$$

Действующее значение тока в LC-цепи определяется по формуле:

$$I_K = \sqrt{I_{K1}^2 + \sum_{v_{\min}}^{v=n} I_{Kv}^2} \leq 1,3 I_{ном}, \quad (11)$$

где I_{K1} – ток первой гармоники в цепи батареи, определяемый по формуле:

$$I_{K1} = \frac{U_{1\phi}}{1/\omega C - \omega L} = \frac{U_{1\phi} v_p^2}{v_p - 1} \omega C \quad (12)$$

I_{Kv} – ток v -ой гармоники в батарее конденсаторов:

$$I_{Kv} = I_v \frac{vx_C}{vx_C + v\omega L - 1/v\omega C}. \quad (13)$$

В формулах (6), (8), (11) число учитываемых гармоник для инженерных расчетов может быть ограничено количеством два-три после резонансной. Следовательно, в этих формулах можно принять $n = 7$ или $n = 11$ для вентильных преобразователей и $n = 7$ для дуговых сталеплавильных печей.

Вывод

В статье рассмотрены вопросы совместной работы нелинейных элементов (вентильного преобразователя) и батареи конденсаторов. Проведён анализ работы конденсаторных батарей при наличии высших гармоник, вызванных наличием нелинейных электропотребителей. Рассмотрены защитные мероприятия от резонансных режимов, возможных при совместной работе.

В настоящее время наиболее действенным методом для защиты конденсаторных батарей от резонансных явлений тока и напряжения является установка последовательно с батареей конденсаторов фильтрующего элемента в виде реактора. Расчёт и выбор реакторного элемента является инженерной задачей, решаемой совместно с

проектной задачей электроснабжения промышленного цеха. Неучёт совместной работы БК и нелинейного элемента способно привести к серьёзному материальному ущербу.

Список литературы

1. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 331 с., ил.
2. Иванов В.С., Соколов В.И. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 336 с.: ил.
3. Арриллага Дж. И др. Гармоники в электрических системах. – М.: Энергоатомиздат, 1990.-320 с.: ил.
4. Карташев И.И., Тульский В.Н., Шамонов Р.Г. Управление качеством электроэнергии.-М.: Издательский дом МЭИ,2006.- 320 с.: ил.
5. Куско А. Качество энергии в электрических сетях.- М.: Додэка-XXI, 2008.- 336 с.: ил.

References

1. Zhezhelenko I.V. Higher harmonics in power supply systems of industrial enterprises. – M.: Energoatomizdat. 2000. - 331 p., ill.
2. Ivanov V.S., Sokolov V.I. Modes of consumption and quality of electricity in power supply systems of industrial enterprises. – M.: Energoatomizdat, 1987. – 336 p.: ill.
3. J. Arrillaga And others . Harmonics in electrical systems. – M.: Energoatomizdat, 1990.-320 p.: ill.
4. Kartashev I.I., Tulskey V.N., Shamonov R.G. Electric power quality management.-M.: Publishing House of MEI, 2006.- 320 p.: ill.
5. Cusco A. Energy quality in electric networks.- M.: Dodeka-XXI, 2008.- 336 p.: ill.

УДК 621.318.4

Применение управляемого подмагничиванием шунтирующего реактора в гибких электрических системах

А.А. Скидан¹, В.В. Смирнов², О.Р. Ивченко³, И.К. Смирнов⁴
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33,
г. Севастополь, 299053, Россия. ¹skidan_7@mail.ru,
²svadick@mail.ru, ³oleg.ivchenko.00@mail.ru, ⁴35ivan115s@mail.ru

Статья поступила 26.05.2022 г.; после доработки 30.05.2022 г.

Аннотация

В настоящее время развитие электроэнергетики характеризуется внедрением управляемых, гибких электрических сетей с переменной нагрузкой, а также ветровых и солнечных электростанций с переменными режимами генерации. Это требует разработки и внедрения нового управляемого силового оборудования, позволяющего изменять свои характеристики в процессе работы, внедрения информационных технологий и микропроцессорных систем для управления, мониторинга и защиты этого оборудования. На данный момент на основе современной схемотехники и элементов силовой электроники разработан ряд эффективных устройств FACTS, предназначенные для реализации такого управляемого силового оборудования. К такому оборудованию относятся специальные компенсаторы реактивной мощности: управляемые шунтирующие реакторы, статические тиристорные компенсаторы и тиристорно-реакторные группы.

Ключевые слова: устройства компенсации реактивной мощности, управляемые шунтирующие реакторы, единая энергетическая система, FACTS, магнитная система, системы автоматического управления.

Application of bias-controlled shunt reactor in flexible electrical systems

A.A. Skidan¹, V.V. Smirnov², O.R. Ivchenko³, I.K. Smirnov⁴
FAEI HE «Sevastopol State University», 33 Universitetskaya st.,
Sevastopol, 299053, Russia. ¹skidan_7@mail.ru,
²svadick@mail.ru, ³oleg.ivchenko.00@mail.ru, ⁴35ivan115s@mail.ru

Received 26.05.2022 y.; received in final form 30.05.2022 y.

Abstract

Currently, the development of the electric power industry is characterized by the introduction of controlled, flexible electrical networks with variable load, as well as wind and solar power plants with variable generation modes. This requires the development and implementation of new controlled power equipment, which allows changing its characteristics during operation, the introduction of information technologies and microprocessor systems to control, monitor and protect this equipment. At the moment, on the basis of modern circuitry and power electronics elements, a number of effective FACTS devices have been developed, designed to implement such controlled power equipment. Such equipment includes special reactive power compensators: controlled shunt reactors, static thyristor compensators and thyristor-reactor groups

Keywords: reactive power compensation devices, controlled shunt reactors, unified power system, FACTS, magnetic system, automatic control systems.

Введение

Управляемые шунтирующие реакторы (УШР) – электромагнитные реакторы, индуктивность которых может плавно регулироваться с

помощью системы автоматического управления, что позволяет осуществлять стабилизацию напряжения на воздушных линиях с большой зарядовой мощностью. В комбинации с батареями конденсаторов, включаемых параллельно, УШР

являются аналогами статических тиристорных компенсаторов (СТК), позволяя поддерживать напряжение на линиях как в режиме малых, так и больших нагрузок

Во многих случаях, при быстрых переменных нагрузках и переменных потоках реактивной мощности, применение обыкновенных управляемых шунтирующих реакторов (УШР), использующих механическую дискретную коммутацию выключателей или встроенных переключателей, не обеспечивает необходимую оперативность регулирования и снижает надежность управления. Диапазон регулирования напряжения в таких реакторах не превышает обычно 30 %, а время переключения с одного положения ступени на другое составляет 5-6 секунд.

Плавное и более быстрое регулирование обеспечивают управляемые подмагничиванием шунтирующие реакторы (УПШР).

Управляемые реакторы при необходимости могут работать параллельно с батареями статических конденсаторов, образуя так называемые управляемые статические компенсаторы (УСК), обеспечивающие как потребление, так и выдачу реактивной мощности, равной мощности конденсаторных батарей. Созданы реакторы с кольцевым, поперечным, продольно-поперечным и продольным подмагничиванием различных участков магнитной системы.

Цель исследования

Основной целью данной работы является анализ перспектив применения, УПШР в энергосистеме, эффективности различных современных конструктивных решений в сфере разработки шунтирующих реакторов и преимуществ управляемых подмагничиванием шунтирующих реакторов перед другими средствами и устройствами того же принципа действия, обеспечивающими повышение эффективности работы и энергосбережения единой энергетической системы России.

Особенности функционирования и эксплуатации шунтирующих реакторов

Шунтирующие реакторы (ШР), как элемент электроэнергетической системы, обычно устанавливаются на подстанциях или линиях электропередачи классов напряжения 330 кВ и выше. В случаях особо длинных линий они могут применяться

и при более низких напряжениях: 110 и 220 кВ. Основное назначение ШР снизить до допустимого уровня напряжение на открытом конце воздушной (ВЛ) или кабельной линии (КЛ) при их одностороннем включении на шины питающей сети (это может быть электрическая станция или же подстанция). Такой реактор устанавливают на линии и называют линейным. Вторая цель установки ШР — ограничить так называемый «сток» избыточной реактивной мощности с ВЛ или КЛ (при малых нагрузках по линии) в примыкающую к линии сеть. Такой реактор устанавливают на шинах подстанции (станции) и называют подстанционным (станционным).

Следует отметить, что сток реактивной мощности опасен именно для генераторов электрической станции. Однако и сток реактивной мощности в обычную сеть, в частности в сеть более низкого напряжения, также может представлять опасность из-за недопустимого повышения напряжения. Третье назначение ШР — снизить величину временных перенапряжений и энергию коммутационных перенапряжений до уровней, допустимых для работы установленных на линии ограничителей перенапряжений (ОПН), которые не всегда имеют достаточный запас по выдерживаемому напряжению и поглощаемой энергии. Линейные и подстанционные (станционные) реакторы необходимы, прежде всего, в режимах малой передаваемой по линиям мощности или на холостом ходу этих линий. По мере увеличения передаваемой по линии активной мощности реактивная мощность, вырабатываемая емкостью линии, все больше потребляется в ее же продольной индуктивности, и, следовательно, снижается необходимость в шунтирующих реакторах, как дополнительных потребителей реактивной мощности, установленных по концам линии или на шинах примыкающих к линии подстанций.

Режим передачи активной мощности по линии, при котором вся вырабатываемая емкостью линии реактивная мощность потребляется в продольной индуктивности линии, называется режимом передачи натуральной мощности. В таком режиме и вовсе нет никакой необходимости в реакторах, поскольку линия сбалансирована по реактивной мощности, т. е. не является ни источником, ни потребителем. Если в режимах передачи мощности, близких к натуральной, реакторы остаются присоединенными к линии (или к шинам) и продолжают потреблять реактивную мощность (хотя уже нет в этом необходимости), то это приводит к снижению напряжения на линии, снижению ее

пропускной способности и росту потерь

Особенно заметным негативное влияние шунтирующих реакторов на пропускную способность оказывается для протяженных линий, поскольку суммарная реактивная мощность ШР для таких линий, как правило, значительна. Для исключения упомянутого негативного влияния шунтирующие реакторы приходится оснащать собственными выключателями и многократно коммутировать ими реактор в течение суточного графика изменения передаваемой по линиям мощности. Вместе с тем известно, что коммутации реакторов являются нежелательными, так как приводят к скачкам напряжения в местах установки ШР, к быстрому расходованию ресурса выключателей, к созданию коммутационных перенапряжений, воздействующих на изоляцию обмоток реактора.

Кроме того, отключенное состояние реакторов просто недопустимо, если оно совпадает с аварийными коммутационными операциями на электропередаче, так как требуемое в этом случае для ограничения перенапряжений быстродействующее подключение ШР будет невозможно. Помимо снижения предела передаваемой по линии мощности, о котором сказано выше, шунтирующие реакторы, не имея плавного регулирования своей реактивной мощности, снижают предел статической устойчивости электропередачи. Так, например, на первой электропередаче 1150 кВ «Экибастуз–Кокчетав–Кустанай» пропускная способность линии реально составила лишь около 40 % ее натуральной мощности из-за использования в качестве устройств компенсации реактивной мощности нерегулируемых шунтирующих реакторов.

Особенности применения УШР

Все перечисленные недостатки ШР преодолеваются путем их замены на управляемые шунтирующие реакторы (УШР). Создание УШР расширило область традиционного применения шунтирующих реакторов.

Например, в сетях 35–220 кВ в России и за рубежом уже нашли широкое применение так называемые устройства компенсации реактивной мощности (УКРМ), представляющие собой параллельное соединение УШР и конденсаторной батареи, при котором обеспечивается плавное регулирование реактивной мощности от режима ее потребления до режима ее выработки. Применение управляемых шунтирующих реакторов позволяет повысить предел передаваемой мощности по условию статической устойчивости практически до значения ее натуральной

мощности, что особенно актуально для протяженных линий. С использованием УШР стало возможным создание транснациональных электропередач переменного тока протяженностью до 2000–2500 км без использования дорогостоящей технологии передачи постоянным током. Потребность в управляемых средствах компенсации реактивной мощности имеется в сетях всех классов напряжения. Однако именно в сетях 500 кВ и выше число и важность решаемых с помощью УПШР задач оказываются наиболее значительными. Во-первых, линии 500–750 кВ имеют большую длину, а их фазы выполнены с расщеплением проводов на несколько составляющих (для ограничения потерь на корону). Следовательно, такие линии являются источниками повышенной реактивной мощности, которая в зависимости от режима электропередачи изменяется в широком диапазоне значений, приводя к недопустимым колебаниям напряжения в сети, к росту потерь (при понижении напряжения), к риску повреждения оборудования (при его повышении). Во-вторых, электропередачи 500–750 кВ, как правило, выполняют ответственную роль магистральных, системообразующих, межгосударственных, и поэтому по ним, в случае необходимости, надо иметь возможность передать значительную мощность с должным запасом устойчивости.

Конструкция современных УПШР

Основным назначением управляемого подмагничиванием шунтирующего реактора является регулирование напряжения и реактивной мощности, для повышения надежности эксплуатации электрических сетей, оптимизации режимов работы и снижения потерь электроэнергии в линиях электропередач.

В УШР с подмагничиванием для плавного регулирования потребляемой реактивной мощности, а, следовательно, и напряжения в точке подключения, используется насыщение стали магнитопровода постоянным потоком, создаваемым выпрямленным током в специальной обмотке управления (ОУ).

Фактически используется принцип магнитного усилителя (электромагнитное устройство, работа которого основана на использовании нелинейных магнитных свойств ферромагнитных материалов и предназначенное для усиления или преобразования электрических сигналов), когда по мере насыщения стержней магнитопровода снижается индуктивное сопротивление сетевой

обмотки реактора (СО) и потребляемая реактивная мощность реактора УПШР.

В реальных конструкциях УПШР при изменении состояния стали его магнитопровода от ненасыщенного состояния до глубокого насыщения, близкого к предельному, когда магнитная проницаемость приближается к магнитной проницаемости воздуха, удается получить диапазон плавного регулирования реактивной мощности с кратностью более 100.

Конструктивно УПШР представляет собой устройство, состоящее из:

- электромагнитной части (магнитопровод, обмотки);
- полупроводникового преобразователя;
- системы автоматического управления

Наибольшее практическое применение получила конструкция, приведенная на рис.1. Это принципиальная схема одной фазы такого реактора с бронестержневым магнитопроводом и двумя «полустержнями», на которых расположены обмотки СО, подключенные к сетевому напряжению E_c , и встречно включенные секции обмотки ОУ, к которым подключен источник постоянного напряжения E_{OY} . Постоянный ток подмагничивания, создаваемый током ОУ, замыкается между центральными полустержнями, а переменный поток — через верхние и боковые

ярма магнитопровода, складываясь в полустержнях с постоянным.

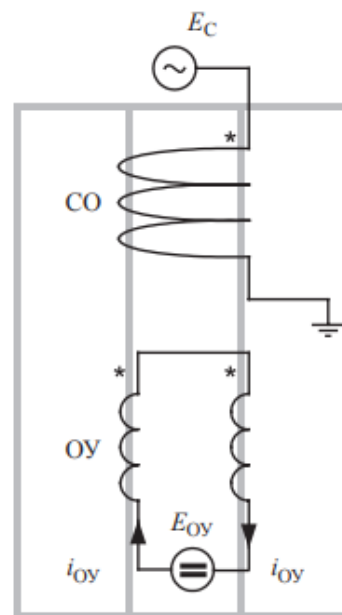


Рис.1. Принципиальная схема одной фазы УПШР.

В большинстве конструкций мощных УПШР на напряжение 220 кВ и выше предусмотрена отдельная специальная обмотка — компенсационная.

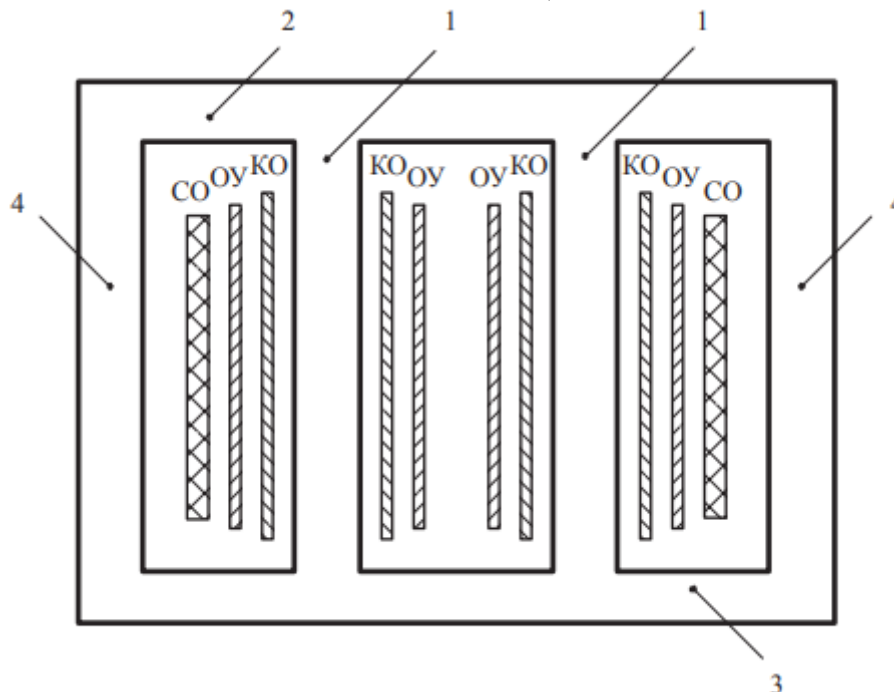


Рис. 2. Разрез магнитной системы фазы УПШР:

Компенсационная обмотка разбита на две секции, каждая из которых охватывает полустержень и обе соединены согласно. Выводы трех

фаз соединяются в треугольник. Порядок расположения обмоток относительно магнитопровода УПШР, следующий: КО—ОУ—СО.

Расположение обмоток на магнитной системе одной фазы УПШР, состоящей из двух полустержней (1), верхнего (2) и нижнего (3) горизонтальных ярем и двух боковых ярем (4) показаны на рис.2. Две секции обмотки управления ОУ размещены на полустержнях, соединены встречно и подключены к регулируемому источнику постоянного напряжения. Сетевая обмотка СО охватывает два соседних полустержня с обмотками управления.

Создание отдельных путей для переменного и постоянного потоков, которое обеспечивается бронестержневой конструкцией магнитопровода с расщепленными стержнями фаз, а также встречное включение секций СО и ОУ позволяют обеспечить независимость электромагнитных процессов в обмотках СО и ОУ, расположенных на одном магнитопроводе.

Для объединения отдельных однофазных устройств в одно трехфазное сетевые обмотки соединяются по схеме «звезда с заземленной нейтралью» и каждая фаза сетевой обмотки выполняется параллельными ветвями с вводом в середину. Секции обмоток ОУ в каждой фазе соединяются последовательно-встречно, а выводы всех фаз соединяются параллельно и подключаются к выводам преобразователя.

Преимущества использования УПШР

Управляемые реакторы наиболее перспективны как средства поперечной компенсации в протяженных линиях высокого и сверхвысокого напряжения. Их использование позволяет:

- автоматизировать процесс стабилизации напряжения или одного из заданных параметров режима с одновременной разгрузкой коммутационного оборудования в схемах регулирования напряжения;
- повысить до 30% пропускную способность линий электропередач по допустимому уровню напряжений;
- снизить потери мощности в электрических сетях и повысить надежность их эксплуатации, в том числе и за счет резкого снижения числа срабатывания устройств РПН трансформаторов;
- повысить предел передаваемой мощности по условию статической и динамической устойчивости системы.

Заключение

Проведенный анализ особенностей работы управляемых подмагничиванием шунтирующих

реакторов, сравнение с другими устройствами компенсации реактивной мощности, отечественный и зарубежный опыт в области современных средств регулирования в энергосистемах показал техническую и экономическую эффективность применения управляемых шунтирующих реакторов.

Показано, что применение УПШР в комплексе с использованием высоковольтных линий электропередач повышенной пропускной способности, а также других устройств типа FACTS, позволяет создавать электропередачи переменного тока с заданной пропускной способностью и без ограничения дальности передачи электроэнергии при соблюдении всех необходимых технических и экологических требований.

Так же применение УПШР позволяет

- успешно решать технические аспекты дальнейшего функционирования объединенной электроэнергетической системы стран СНГ и осуществления соединений на параллельную работу энергосистем регионов, в частности, решить проблему объединения на параллельную работу ОЭС Сибири и ОЭС Востока. Для решения данной задачи потребуются УПШР 220, 500 кВ общей установленной мощностью не менее 7000 МВАр;
- повысить предел передаваемой мощности по условию статической устойчивости практически до значения ее натуральной мощности, что особенно актуально для протяженных линий. С использованием УПШР стало возможным создание транснациональных электропередач переменного тока протяженностью до 2000–2500 км;
- управлять режимами работы сетей таким образом, чтобы снизить потери, повысить пропускную способность линий электропередачи. За счет этого повышается надежность работы системы, значительно экономится электроэнергия при ее передаче.

Список литературы

1. Дмитриев М.В., Долгополов А.Г., Карпов А.С., Кондратенко Д.В. Шескин Е.Б. Управляемые подмагничиванием шунтирующие реакторы // Под ред. проф. Евдокунина Г.А. СПб.: Изд. дом «Родная Ладога», 2013 г. – 280 с.
2. Кондратенко Д.В., Долгополов А.Г., Шибаева Т.А., Виштитеев А.В. Статический компенсатор реактивной мощности на базе УПШР как необходимое средство повышения энергоэффективности в электроэнергетике // ЭЛЕКТРО. 2010. № 2.
3. Долгополов А.Г., Соколов С.Е. Управляемые ре-

акторы. Обзор технологий // Новости Электро-Техники. 2012. № 3 (75).

4. Бударгин О.М., Макаревич Л.В., Мاستрюков Л.А. Управляемый насыщающийся реактор мощностью 180 МВА напряжением 500 кВ ОАО «Электрозавод» // Электро. 2012. № 6.
5. C. BENGTTSSON, Z. GAJIC, M. KHORAMI. Dynamic Compensation of Reactive Power by Variable Shunt Reactors: Control Strategies and Algorithms. Paper C1-303, CIGRE 2012.

References

1. Dmitriev M.V., Dolgoplov A.G., Karpov A.S., Kondratenko D.V. Sheskin E.B. *Upravlyayemyye podmagnichivaniyem shuntiruyushchiye reaktory* [Magnet Controlled Shunt Reactors]. St. Petersburg, "Rodnaya Ladoga" Publ., 2013, 280p.
2. Kondratenko D.V., Dolgoplov A.G., Shibaeva T.A., Vishtibeev A.V. *Staticheskiy kompensator reaktivnoy moshchno-sti na baze USHR kak neobkhodimoye sredstvo po-vysheniya energoeffektivnosti v elektroener-getike* [Static reactive power compensator based on CSR as a necessary tool for improving energy efficiency in the electric power industry]. ELECTRO Publ., 2010.
3. B Dolgoplov A.G., Sokolov S.E. *Upravlyayemyye reaktory. Obzor tekhnologiy* [Controlled reactors. Technology Overview]. News of Electrical Engineering. Publ., 2012, 75p
4. Budargin O.M., Makarevich L.V., Mastryukov L.A. *Upravlyayemyy насышchayushchiysya reaktor moshchno-st'yu 180 MVA napryazheniyem 500 kV* [Controlled saturable reactor with a power of 180 MVA and a voltage of 500 kV]. ELECTRO Publ., 2016.
5. C. BENGTTSSON, Z. GAJIC, M. KHORAMI. Dynamic Compensation of Reactive Power by Variable Shunt Reactors: Control Strategies and Algorithms, CIGRE 2012, Paper C1-303.

УДК 321.311

Перспективы применения сверхпроводящих индуктивных накопителей для повышения надежности электроснабжения

А.А. Скидан¹, В.В. Смирнов², В.Н. Третьяченко³

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33,

г. Севастополь, 299053, Россия. ¹a.a.skidan@sevsu.ru,²svadick@mail.ru, ³tretyachenko.vadik@yandex.ru

Статья поступила 26.05.2022 г.; после доработки 30.05.2022 г.

Аннотация

Из-за взаимосвязи различных возобновляемых источников энергии и адаптивных технологий качество напряжения и стабильность частоты современных энергосистем становятся неустойчивыми. Сверхпроводящий магнитный накопитель энергии (СПИН), благодаря своим динамическим характеристикам, очень эффективен для быстрого обмена электроэнергией с сетью во время небольших и больших возмущений для устранения этих нестабильностей. Кроме того, СПИН также играют роль в интеграции возобновляемых источников энергии, таких как ветрогенераторы, в энергосистему, контролируя выходную мощность и повышая стабильность энергосистемы. Эффективное применение СПИН в различных операциях энергосистемы зависит от правильного расположения в энергосистеме, точных значений энергии и мощности и соответствующих контроллеров. В этой статье принята попытка объяснить устройство СПИН и его управляемость для снижения стабильности электросети.

Ключевые слова: накопители энергии, сверхпроводимость, сверхпроводящий накопитель энергии, СПИН.

The prospects of using superconducting magnetic energy storage to improve the reliability of power supply

A.A. Skidan¹, V.V. Smirnov², V.N. Tretyachenko³

FAEI HE «Sevastopol State University», 33 Universitetskaya st.,

Sevastopol, 299053, Russia. ¹a.a.skidan@sevsu.ru,²svadick@mail.ru, ³tretyachenko.vadik@yandex.ru

Received 26.05.2022 y.; received in final form 30.05.2022 y.

Abstract

Due to the interconnection of various renewable energy sources and adaptive technologies, the voltage quality and frequency stability of modern power systems become unstable. The superconducting magnetic energy storage (SMES), due to its dynamic characteristics, is very effective for the rapid exchange of electricity with the grid during small and large disturbances to eliminate this instability. In addition, SMES plays an important role in integrating renewable energy sources, such as wind turbines, into the power grid, controlling the output power of the wind turbine and increasing the stability of the power system. The effective use of SMES in various operations of the power system depends on the correct location in the power system, the exact values of energy and power and the appropriate controllers. This article attempts to explain the device of the SMES and its controllability to reduce the stability of the power grid.

Keywords: energy storage, superconductivity, superconducting magnetic energy storage, SMES.

Введение

В соответствии с данными Института Электроэнергетических исследований, 80-90% проблем качества энергоснабжения являются ре-

зультатом отключений или перерывов электроснабжения. Это обусловило развитие накопителей электроэнергии, разработка которых становится ключевой задачей электроэнергетики. Сверхпроводящие индуктивные накопители

энергии, имеют широкие перспективы использования. Эта технология нацелена особенно на промышленные производства, где она может обеспечить защиту устройств, таких как технологическое оборудование и приводы, от кратковременных нарушений в энергоснабжении. Коммерциализация СПИН и его применение в энергетических объектах – это направление, которое стало усиливаться после запуска в эксплуатацию в энергосистему ВРА в г. Такома в 1985 г. СПИН энергоемкостью 30 МДж [1]. Это определяется тем, что обобщение опыта разработки и эксплуатации первого в мировой истории СПИН позволило уточнить и улучшить конструктивные и эксплуатационные параметры, обеспечив самокупаемость таких систем в отдельных энергетических объектах.

Системы различного конструктивного исполнения обеспечивают в настоящее время защиту чувствительного оборудования заказчика в химической, пластмассовой и бумажной промышленности, научных установок и военных центров обработки данных.

В индуктивных накопителях энергия запасается в том же виде, в каком и используется, – электромагнитном. Таким образом появляется возможность практически мгновенного перехода из режима накопления энергии в режим ее выдачи.

Первая СПИН система, сконструированная как защита от падения напряжения была разработана и установлена на современной бумажной фабрике в Стейнджере штата Эском в Южноафриканской национальной системе электроснабжения в апреле 1997 г.

Промышленный СПИН был использован для защиты от кратковременных падений напряжения, действующих на производственное оборудование по изготовлению автозапчастей, в Австрии. Он управлял электрической системой Стеваг-Стег и предоставлял возможность проскакивать падения напряжения длительностью до 0.8 с, имея управляющую мощность 1.4 МВт [2].

Постановка цели научного исследования

Цель данной работы – оценить возможность технического применения в электроэнергетике сверхпроводящих индуктивных накопителей энергии, в сравнении с традиционно используемыми.

Сверхпроводящие индуктивные накопители энергии

Сверхпроводящий индуктивный накопитель энергии (СПИН) – это система хранения энергии. В катушке, охлажденной до критической температуры, при которой потери на сопротивление незначительны, энергия накапливается в виде магнитного поля, которое создается при протекании в ней тока.

Этот вид накопителей отличается от других тем, что в накопителе непрерывно циркулирующий ток протекает в сверхпроводящей катушке, что создает магнитное поле для накопления энергии.

Следовательно, процесс преобразования энергии происходит только от переменного тока к постоянному, и нет присущих другим накопителям потерь, связанных с преобразованием одного вида энергии в другую.

СПИН, подключенный к сети, может обеспечивать динамическую устойчивость системы после больших возмущений, например, возникновения КЗ. До возникновения аварии СПИН может работать в режиме выдачи энергии. После ее возникновения он переводится в режим потребления энергии, создавая дополнительную нагрузку на генераторы электростанции, так как в системе возникает избыток энергии из-за отключенной нагрузки.

Как только угловая частота ротора генератора начинает увеличиваться СПИН отключается или переводится в режим работы с отдачей электроэнергии [2].

Альтернативой этой системе являются гидроаккумулирующие электростанции. Но трудности с ними заключаются в низкой эффективности, медленном отклике, потерях энергии при установке вдали от центров нагрузки.

Структура СПИН

Основными компонентами СПИН являются: сверхпроводящая катушка, состоящая из сверхпроводника и ферромагнитного сердечника, криогенная установка.

Накопление и хранение энергии в обычном индукторе или в катушке трудно выполнимо из-за высокого омического сопротивления катушки. Его можно уменьшить путем снижения температуры проводника, и для этой цели используется охлаждающая жидкость в системе.

Структура СПИН показана на рис. 1.

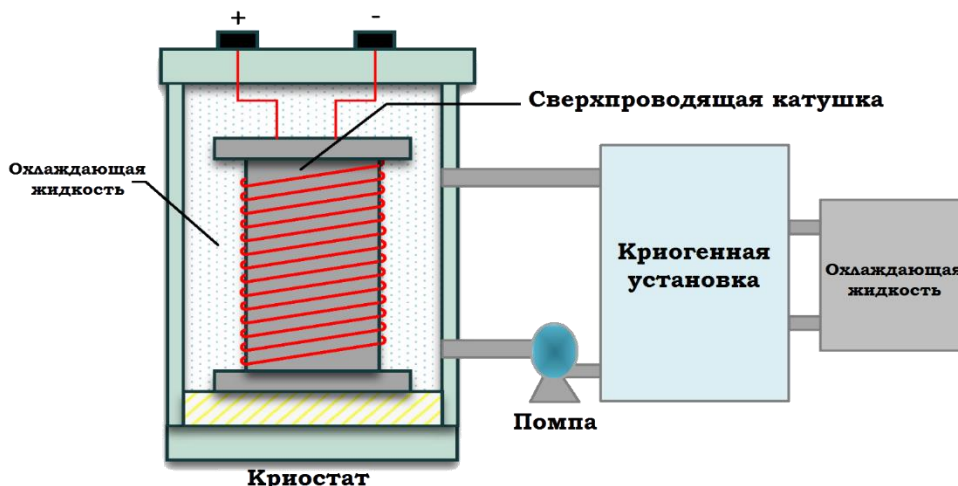


Рис. 1. Структура СПИН

Применяемые сверхпроводники

По основным характеристикам сверхпроводники делятся на две группы. Высокотемпературные и низкотемпературные сверхпроводники.

Высокотемпературные охлаждаются при 77 К с использованием жидкого азота (LN₂), а низкотемпературные обычно охлаждаются с использованием жидкого гелия (LHe) при 4,4 К. Наиболее эффективными и коммерчески доступными сверхпроводящими (СП) материалами для СПИН являются сплавы ниобия и титана (NbTi). При температуре 4,4 К они могут пропускать ток до 2000 А/мм² при магнитном поле 5 Тл.

Внедрение высокотемпературных СП проводов с высокой критической температурой позволят работать при более высоких температурах, что может снизить эксплуатационные расходы на криогенные установки, а также значительно снизить стоимость самой установки, сделать СПИН более стабильным и менее чувствительным к внешним возмущениям. Кроме того, при работе при более высоких температурах электрическая изоляция может быть толще, что позволит увеличить мощность за счет более высокого рабочего напряжения. Однако в больших системах криогенные затраты составляют лишь ограниченную долю от общей стоимости. Также стоит учесть, что стоимость существующих высокотемпературных проводников на два порядка выше чем применяемых.

Типы сердечника

Ферромагнитный сердечник внутри сверхпроводящей катушки увеличивает способность

СПИН к хранению энергии магнитного поля. Для небольших СПИН обычно используются соленоиды, потому, что они имеют простую конструкцию и легче справляются с электромагнитными силами.

По мере увеличения размера применяется тороидальная катушка, способная уменьшить действующие силы. Также преимуществом является естественное низкое поле рассеяния, поскольку основная энергия содержится во внутреннем кольце магнита. Из-за слабого внешнего магнитного поля тороидальный СПИН может быть расположен рядом с коммунальным предприятием или потребителем. Недостатком является сложная конструкция.

Электрическая схема СПИН

Возможная конфигурация электрической схемы СПИН показана на рис. 2. Её основными частями являются два инвертора, два конденсатора, четыре переключателя и варистор.

Преобразователь выдает питание постоянного тока для зарядки аккумулятора, переключает условия зарядки и разрядки.

СПИН заряжается, когда переключатели Sw1 и Sw4 закрыты, а Sw2 и Sw3 открыты, и разряжается, когда переключатели Sw2 и Sw3 закрыты, а Sw1 и Sw4 открыты.

Конденсаторы предназначены для сглаживания пульсаций после выпрямления переменного тока на входной и выходной стороне. Варистор используется для защиты от перенапряжения. Инвертор используется для подачи питания на нагрузку переменного тока.

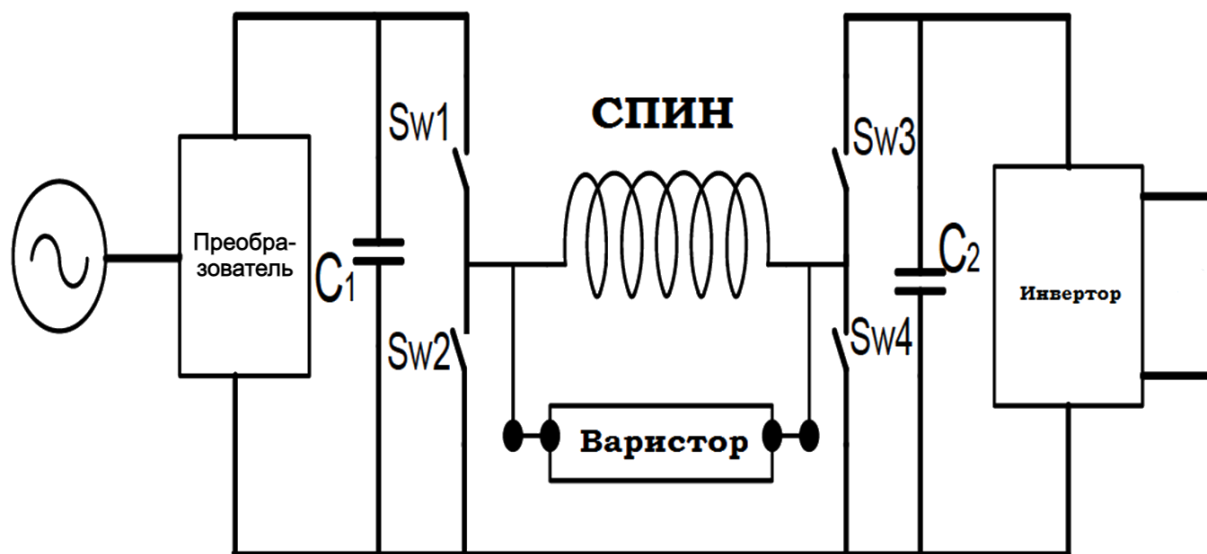


Рис. 2 Электрическая схема СПИН

Достоинства и недостатки СПИН

Можно вывести следующие достоинства применения СПИН:

- Способность накапливать и разряжать большое количество энергии;
- Высокая эффективность (более 90%);
- Быстрое время отклика (менее 100 мс);
- Отсутствие движущихся частей;
- Низкие эксплуатационные расходы;
- Уникальные характеристики выходной мощности системы и удельной мощности (кВт / кг);
- Широкий диапазон режимов работы;
- Экологичность.

Наряду с достоинствами СПИН имеет недостатки:

- Требуется большое количество энергии, чтобы поддерживать катушку при низкой температуре;
- Высокая первоначальная стоимость;
- Проблема механической стабильности.

Перспективы применения СПИН

Применение СПИН будет иметь ряд преимуществ. Стоит отметить, что при этом у энергосистем увеличится надежность, это благоприятно скажется на транспортировке и распределении электрической энергии, а также ее потребление. СПИН позволит демпфировать низкочастотные колебания в сети, что приведет к значительному снижению потерь надежности энергосистем.

СПИН найдет применение у «ответственных» потребителей. Например, на предприятиях нефтехимической промышленности есть производственные линии, которые не должны прерывать энергоснабжение даже на очень короткие сроки. Можно отметить еще одну из потенциальных областей применения СПИН – поддержание питания без перебоев учреждений медицинского характера, проводящих сложные операции с использованием современных медицинских аппаратов.

Использование СПИН позволит снять нагрузку с АЭС. Это станет возможным, если осуществлять зарядку СПИН от атомных электростанций во время малого энергопотребления в системе и выдавать энергию, разряжая их в часы пиковой нагрузки потребителей. Это позволит в свою очередь сгладить график нагрузки такого ответственного базового производителя электроэнергии как АЭС, тем самым создавая условия для повышения надежности и безопасности их работы [4].

Можно выделить следующие перспективы применения:

Возможность установки в системе с «распределенной генерацией» (ветропарк, солнечные батареи и пр.) для регулировки колебаний мощности, подавления высоко- и низкочастотных колебаний, и стабилизации напряжения

Возможность установки на станциях зарядки электротранспорта, в сетях, работающих с электротранспортом, и на мощных транспортных средствах.

В комбинации с другими видами накопителей или самостоятельно для регулирования суточных колебаний мощности крупной энергосистемы или станции (АЭС) [3].

Вывод

1. СПИН представляет собой перспективную разработку, применение которой может повысить эффективность и надёжность электроснабжения. Особенно она подходит для источников питания короткого действия. Таким образом, это отличное решение для таких применений, как импульсные источники питания, источники бесперебойного питания или источники питания для электросетей.
2. Препятствием для широкой коммерциализации СПИН остаются высокие капитальные затраты.
3. Разработки по созданию сверхпроводящих индуктивных накопителей энергии с однослойной СП обмоткой обеспечивают как снижение расхода СП провода, себестоимости обмотки СПИН, так и улучшение условий охлаждения, позволяющее снизить удельный вес стабилизирующей медной или алюминиевой матрицы и, соответственно, дополнительно массу и габариты СП катушки.
4. Снижению стоимости катушки СПИН и криогенной техники могут способствовать исследования по предотвращению преобразования энергии магнитного поля в тепловую, выделяющуюся в СП проводнике. Подобные разработки позволили бы дополнительно уменьшить массу и объём стабилизирующей матрицы СП провода и улучшить условия работы криогенного оборудования.
5. В роли проводника для СПИН целесообразно применять сплав NbTi, который является низкотемпературным СП материалом. Для его охлаждения используют установки с жидким гелием. Постепенное усовершенствование больших криоохладителей может продлить цикл технического обслуживания и снизить электрическую нагрузку на холодильную установку. Однако эта система всё равно остаётся дорогостоящей с точки зрения капитальных вложений и эксплуатационных расходов.
6. Возможным улучшением может стать внедрение высокотемпературных СП проводов с

высокой критической температурой.

Список литературы

1. В.В. Бушуев и др. «Динамические свойства энергообъединений». М.: Энергоатомиздат, 1995.
2. А.П. Бурман и др. «Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем» М Издательский дом МЭИ, 2012
3. Ш.И. Лутидзе, Э.А. Джафаров, Ф.Ф. Юлдашев ОАО «Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского», 119991, Москва, Россия
4. Сверхпроводящие индуктивные накопители энергии (SMES, D-SMES). [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://wiki2.gridology.ru/wiki/Сверхпроводящие_индуктивные_накопители_энергии_\(SMES,_D-SMES\)/](http://wiki2.gridology.ru/wiki/Сверхпроводящие_индуктивные_накопители_энергии_(SMES,_D-SMES)/)

References

1. V.V. Bushuev et al. "Dynamic properties of energy compounds". Moscow: Energoatomizdat, 1995.
2. A.P. Burman et al. "Management of electric energy flows and improving the efficiency of electric power systems" M Publishing House MEI, 2012
3. Sh.I. Lutidze, E.A. Jafarov, F.F. Yuldashev JSC "G.M. Krzh-Zhanovsky Power Engineering Institute", 119991, Moscow, Russia
4. Superconducting inductive energy storage (SMES, D-SMES). [[Electronic resource]. Access mode: [http://wiki2.gridology.ru/wiki/Superconducting_inductive_energy_accumulators\(SMASH,_D-SMASH\)/](http://wiki2.gridology.ru/wiki/Superconducting_inductive_energy_accumulators(SMASH,_D-SMASH)/)

НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

УДК 620.92

Возможности уменьшения мощностных потерь фотоэлектрических панелей в условиях Крымского региона

В.В. Кувшинов¹, Е.Г. Какушина², Коломийченко В.П.³,
Бордан Д.Ф.⁴, Жиганов И.Г.⁵

ФАГОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, ¹kuvshinov.vladimir@gmail.com ²littie@mail.ru, ⁴dante477@mail.ru,
⁵ZiganobI@mail.ru,

Черноморское высшее военно-морское ордена красной звезды
училище имени П.С. Нахимова, ул. Павла Дыбенко, д 1 г. Севастополь, 299028, Россия, ³Mantulova@yandex.ru

Статья поступила 06.04.2022 г.; после доработки 08.04.2022 г.

Аннотация

Для увеличения эффективности работы фотоэлектрических панелей необходимо изучение энергетических характеристик потока солнечной радиации, который преобразовывается серийными фотоэлектрическими установками. Авторами были проведены сравнительные исследования солнечных панелей различной мощности.

Ключевые слова: фотоэлектрическая установка, коэффициент преобразования, мощностная характеристика, эффективность работы солнечной установки.

Possibilities of reducing the power losses of photovoltaic panels in the conditions of the Crimean region

V.V. Kuvshinov¹, E.G. Kakushina², V.P. Kolomiychenko³,
D.I. Timan⁴, I.V. Zhiganov⁵

Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia,
¹kuvshinov.vladimir@gmail.com ²littie@mail.ru, ⁴dante477@mail.ru, ⁵ZiganobI@mail.ru,
Black Sea Higher Naval Order of the Red Star

School named after P.S. Nakhimov, Pavel Dybenko str., d 1, Sevastopol, 299028, Russia, ³Mantulova@yandex.ru

Received 06.04.2022 y.; received in final form 08.04.2022 y.

Abstract

To increase the efficiency of photovoltaic panels, it is necessary to study the energy characteristics of the solar radiation flux, which is converted by serial photovoltaic installations. The authors conducted comparative studies of solar panels of various capacities.

Keywords: photovoltaic installation, conversion coefficient, power characteristic, efficiency of the solar installation

Введение

Россия технически развитая держава, в которой можно быстро наладить, на основе серийных солнечных элементов, производство солнечных фотоэлектрических установок. Используя практические рекомендации, можно с определённой

уверенностью показать какие энергетические параметры будет вырабатывать солнечная батарея в тех или иных погодных условиях [1].

В этом разделе показаны результаты исследований по изучению работы фотоэлектрических модулей, описанных в работах [1]. На экспериментальной площадке в течение 2018-2022г.г.

проводились исследования серийных фотоэлектрических модулей типа PS-250. Модуль PS-250, состоит из поликремневых элементов с КПД около 17 %.

Представленный тип модуля используется для солнечных фотоэлектрических станций Крыма, работающих параллельно с сетью и поставляющих электроэнергию в общую энергосистему.

Постановка цели исследования

Исследования проводились на открытой территории в ясные солнечные дни при постоянной освещенности [4]. Главной целью данного исследования было получение зависимостей изменения выходной мощности фотоэлектрической батареи в разные месяцы года. В табл. 1 приведены усредненные вольтамперные и мощностные характеристики, полученные при испытаниях за 2018 - 2020 г.г.

Значения номинальной мощности заводских измерений [6] модуля PS-250 соответствуют значениям 30 В и 8 А. Однако при натурных испытаниях значение напряжения в рабочей точке с увеличением освещенности в весенние месяцы падает до 28 В (рис 3.1), при этом мощностные характеристики сохраняются, а значения тока растут сильнее, чем по результатам заводских испытаний. Коэффициент преобразования солнечных элементов модуля PS-250 рассчитываем, используя заводские данные и формулы 2.29 и 2.30. Коэффициент преобразования солнечной батареи (табл. 3.1), различается в разные месяцы. Так в январе он наибольший, а в мае – наименьший.

Таблица 1. Средние значения основных характеристик модуля PS-250

Месяцы	Мощность падающего излучения (освещенность), Вт/м ²	Температура воздуха °С	Максимальная мощность модуля ISM-50	Коэффициент преобразования солнечных элементов модуля ISM-50
Январь	640	10	162 Вт	17,2 %
Март	740	12	185 Вт	17 %
Апрель	850	13	212 Вт	16,8 %
Май	900	15	225 Вт	16,6 %

Результаты проведенного исследования

Экспериментальные значения вольт-амперных характеристик модуля были получены при

различных температурных показателях. На графиках рис.1 видно, что при одинаковых значениях освещенности, мощность модуля была большей при низких температурах, также менялась форма вольт-амперной характеристики.

Коэффициент преобразования модуля, в зависимости от освещенности, улучшается в холодную ясную погоду, особенно эффективно работал модуль в январе при $T = -20^{\circ}\text{C}$, и снижается в летние месяцы при повышении температуры рабочей поверхности. Как видно из результатов, наилучший режим работы модуля наблюдался при отрицательных температурах (например -20°C , январь 2020).

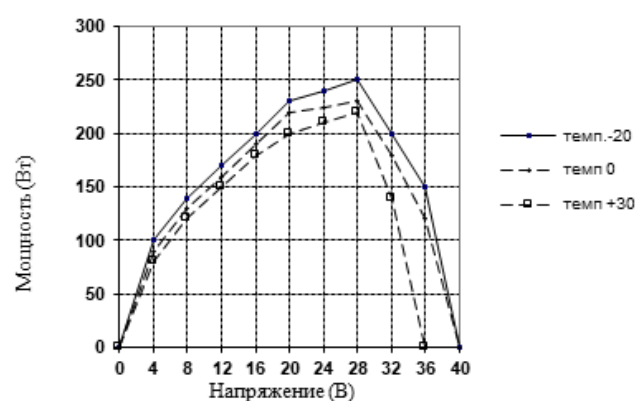


Рис. 1. Зависимости вольтамперной и мощностной характеристик модуля PS-250 полученные в разное время года при одинаковой освещенности (около 950 Вт/м²) и различной атмосферной температуре

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

В условиях облачности (освещенность менее 200 Вт/м²), зависимость мощностных характеристик модуля от угла наклона меняется по другим характеристикам (график на рис.3.2). При отклонении плоскости модуля от перпендикулярного направления на точку, в которой находится Солнце, фототок и вырабатываемая мощность начинают расти, и достигают своего максимума при горизонтальном расположении модуля (рис.3.2). Это происходит в момент, когда солнечный диск полностью закрыт облаками и модуль преобразовывает только рассеянное излучение, приходящее со всех сторон небосвода [1]. При высокой облачности угол установки модуля к горизонту составляет 0°, при ясной погоде, наоборот, угол установки плоскости модуля соответствовал направлению на Солнце, т.е. равнялся углу солнечного склонения. При этом, при

равной освещенности коэффициент преобразования модуля был выше в ясную погоду, чем при высокой облачности (табл. 2), т.е. на работу модуля влияет спектр излучения, который различен в пасмурную и ясную погоду [1].



Рис. 2. Изменение мощности модуля RS-250, в зависимости от угла наклона при различной облачности

Таблица 2. Характеристики модуля PS-250 в ясную и пасмурную погоду

Облачность	Угол установки модуля при максимальной освещенности	Максимальная освещенность рабочей поверхности, Вт/м ²	Коэффициент преобразования
Ясно	45 °	880	17 %
Пасмурно	0 °	280	14 %
Переменная облачность	45 °	От 550 до 880, с увеличением до 980	Около 13 %

Также необходимо отметить резкое повышение мощности (более 10%) при небольшой облачности, при выходе Солнца из-за облака. Повышение мощности наблюдалось около 1-2 минут, затем мощность снижалась до значения соответствующего постоянной освещенности для ясной погоды [7]. Повышение мощности связано с увеличением освещенности, которая при небольшой облачности в некоторых точках земной поверхности может быть выше, за счет суммирования прямого и отраженного от облаков потока солнечной радиации [1]. Представляет интерес зависимость при работе модуля при наличии снегового покрова (табл. 3). Значительное увеличение мощности происходило при отражении света от снежного покрытия, т.е. при увеличении альбедо. При этом освещенность составляла более 900 Вт/м², что в этом месяце даже в ясную погоду не наблюдается. Однако за счет отражения света от поверхности снежного

покрова прибавка в освещенности составляла до 30%. При этом модуль вырабатывал меньшую мощность, чем при такой же освещенности без снегового покрова. Это можно объяснить отличной спектральной составляющей отраженного от снегового покрова света, которая хуже преобразовывается модулем [5]. В табл. 3 заметно увеличение мощности модуля за счет отраженного потока от снеговой поверхности, однако коэффициент преобразования падает.

Таблица 3. Характеристики модуля PS-250 при наличии снегового покрова

Снеговой покров	Мощность падающего излучения, Вт/м ²	Суммарная освещенность модуля, Вт/м ²	Температура воздуха °С	Номинальная мощность модуля PS-250	Коэффициент преобразования
При наличии снегового покрова	770	925	- 5	200 Вт	13,6 %
Без снегового покрова	770	770	- 5	175 Вт	16,5 %

Данные необходимы при расчетах годовой выработки электроэнергии солнечными электростанциями [3,4]. Как видно из данных, конечные значения выработки электроэнергии, при учете указанных в данной работе факторов, могут различаться более, чем на 30 %, как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения.

На основе натурных исследований, проведенных при различных климатических условиях, получены данные о наиболее эффективных режимах работы серийных фотоэлектрических модулей PS-250, показано изменение КПД модулей, полученное при исследованиях их работы при различных атмосферных температурах от -20⁰С и до +40⁰С.

Выводы

В представленной аттестационной работе приведены теоретические расчеты и экспериментальные исследования работы фотоэлектрических модулей, используемых для автономных потребителей, а также для солнечных станций, работающих параллельно с сетью. Данные типы модулей могут работать как в составе автоном-

ных фотоэлектрических установок, так и в составе крупных электростанций, поставляющих электрическую энергию в общую энергосистему.

Представленная аттестационная работа позволяет изучить режимы работы солнечных батарей, связанные с изменением угла падения солнечной радиации на рабочую поверхность фотоэлектрического модуля. Данная работа направлена на практическое использование солнечных установок для электроснабжения потребителей в южных регионах Российской Федерации.

Проведенный анализ существующих фотоэлектрических солнечных установок, используемых для обеспечения автономных потребителей, выявил ряд недостатков, которые были проанализированы в работе.

В работе было проведено исследование мощностных характеристик фотоэлектрических установок с монокремниевыми и поликремниевыми модулями различных типов, которое показало, что для автономного электропитания небольших объектов более эффективно использовать поликремневые модули. Данные модули более эффективно работают в условиях облачности, что несколько повышает их среднегодовую энергоснаработку.

В процессе работы были получены результаты, по которым можно сделать следующие основные выводы:

- Для электроснабжения потребителей в труднодоступных районах Российской Федерации более эффективно использование фотоэлектрических установок малой мощности, с различными оптимальными углами установки, наиболее приемлемыми для данной местности.
- На основе проведенных натурных испытаний при различных климатических условиях были получены данные о наиболее эффективных режимах работы поликремневого фотоэлектрического модуля PS 250, которые показали, то в районах с большим количеством пасмурных дней модули фотоэлектрических установок более эффективно располагать на горизонтальной площадке.
- В районах с низкими температурами при проектировании фотоэлектрических станций следует учитывать увеличение КПД фотопреобразователей, и как следствие значительное повышение мощности.
- В местностях с значительным снежным покровом, при установке модуля с оптимальным углом наклона, возможно повышение мощностных характеристик модулей до 70 %, за счёт отражения солнечных лучей от

поверхности снега.

- Как показали исследования, угол установки модуля значительно влияет на его вырабатываемую мощность, однако это происходит только в ясные дни при максимальной освещенности. При сильной облачности, для большей выработки, модули эффективнее располагать горизонтально. Следовательно, при расположении солнечных установок необходимо учитывать количество ясных и пасмурных дней в году.
- Используя при проектировании солнечных электростанций полученные экспериментальные данные, можно значительно поднять выработку электрической энергии.

Анализ, теоретические расчёты и практические исследования, проведенные в работе, позволяют получить более полную информацию о различных режимах работы солнечных электростанций и автономных фотоэлектрических установок.

Список литературы

1. Багров Н.В. Солнечная энергетика для устойчивого развития Крыма./ Боков В.Н., Муровский С.П., Бекиров Э.А.// Симферополь: «Доля».- 2009.- 294 с.
2. Вологдин С.В. Анализ различных сценариев энергоснабжения Крыма с учетом режимов работы солнечной электростанции /Якимович Б.А., Кувшинов В.В., АбдАли Л. М., Какушина, Е. Г. и другие // Appl. Sol. Энергия, 2019, Том 55, № 4, С. 229–234.
3. Бордан Д.Ф. Потенциал развития тепловой солнечной энергетика для нужд коммунального хозяйства /Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Олейников А.М., Гхашим М.// Энергетические установки и технологии. 2021 - Т. 7. № 1. С. 46-52.
4. Кувшинов В.В. Исследование эффективности работы фотоэлектрических панелей, используемых для работы на солнечных электростанциях и для обеспечения автономных потребителей/Сперанский М.Ю., Березняк В.А., Власов Н.А., Лавренчук А.А.// Энергетические установки и технологии – 2022. Т. 8. № 1. С. 106-114.
5. Кувшинов В.В. Оптимизации режимов распределения нагрузки в совмещённой системе с возобновляемыми источниками энергии/ Какушина Е.Г., Тиман Д.И., Жиганов И.Г., Гхашим М.// Энергетические установки и технологии – 2022. Т. 8. № 1. С. 84-89.
6. Кувшинов В.В. Повышение эффективности работы солнечных и ветровых электростанций за счет применения накопителей энергии./ Какушина Е.Г., Власов Н.А., Березняк В.А., Гхашим М.// Энергетические установки и технологии –

2022. Т. 8. № 1. С. 90-95.

7. Кувшинов В.В. Использование энергосберегающих технологий для системы электрического освещения города на основе фотоэлектрических преобразователей/ Какушина Е.Г., Тиман Д.И., Бордан Д.Ф., Нашев Р.А.// Энергетические установки и технологии – 2022. Т. 8. № 1. С. 78-23.

References

1. Bagrov N.V. Solar energy for sustainable development of Crimea./ Bokov V.N., Murovsky S.P., Bekirov E.A.// Sympheropol: "Share".- 2009.- 294 p.
2. Vologdin S. V. Analiz razlichnykh scenariy energosnabzheniya Kryma s uchetoм rezhimov work solar power plants / Yakimovich B. A., Kuvshinov V. V., AbdAli L. M., Kakushina, E. G. et al. / / Appl.Sol. Energy, 2019, Vol. 55, no. 4, pp. 229-234.
3. Bordan D. F. Potentiality of the development of thermal solar energy for the needs of the municipal economy /Kuvshinov V. V., Kaku-shina E. G., Oleynikov A.M., Ghashim M. // Energy and technology. 2021. Vol. 7. no. 1. pp. 46-52.
4. Kuvshinov V.V. Investigation of the efficiency of photovoltaic panels used to work at solar power plants and to provide autonomous consumers. Espersansky M.Yu., Berezhnyak V.A., Vlasov N.A., Lavrenchuk A.A.// Power installations and technologies – 2022. Vol. 8. No. 1. S. 106-114.
5. Kuvshinov V.V. Optimization of modes of distribution of settings in a compatible system with renewable energy sources/ Kakushina E.G., Timan D.I., Zhiganov I.G., Ghashim M.// Power plants and technologies-2022. Vol. 8. No. 1. pp. 84-89.
6. Kuvshinov V.V. Renewal of the effects of long-term and wind power plants due to the use of energy storage./ Kakushina Or.G, Vlasov N.A., bezrezhnyak V.A., Ghashim M.// Power plants and technologies-2022. Vol. 8. No. 1. pp. 90-95.
7. Kuvshinov V.V. Use of energy-regenerating technologies for Elec-trim city condemnation systems based on photovoltaic converters/Ka-kushina or.G, Timan D.I., Bordan D.F., Na-shev R.A.// Power installations and technologies-nologiya-2022. Vol. 8. No. 1. pp. 78-23.

УДК 620.92

Возможности преобразования ветровых потоков различными типами ветровых турбин

В.В.Кувшинов¹, Д.И. Тиман², Е.Г. Какушина³,
В.П. Коломийченко⁴, В.А. Березняк⁵

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, ¹VVKuvshinov@sevsu.ru, ²timan@mail.ru, ³littie@mail.ru, ⁵gern96-10@mail.ru
Черноморское высшее военно-морское ордена красной звезды
училище имени П.С. Нахимова, ул. Павла Дыбенко, д 1 г. Севастополь, 299028, Россия, ⁵Mantulova@yandex.ru

Статья поступила 12.04.2022 г.; после доработки 14.04.2022 г.

Аннотация

Для увеличения эффективности работы ветровых турбин необходимо изучение энергетических характеристик ветрового потока, который преобразовывается серийными ветроэлектрическими установками. Авторами были проведены сравнительные исследования трёх ветротурбин различной мощности. Использование ветровых установок в Российской Федерации позволяет значительно сократить выбросы в атмосферу вредных веществ и углекислого газа.

Ключевые слова: ветроэлектрическая установка, коэффициент использования энергии ветра, мощностная характеристика, эффективность работы ВЭУ.

The possibilities of converting wind flows by different types of wind turbines

V. V. Kuvshinov¹, D.I. Timan², E. G. Kakushina³,
V.P. Kolomiychenko⁴, V.A. Bereznyak⁵

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

¹VVKuvshinov@sevsu.ru, ²timan@mail.ru, ³littie@mail.ru, ⁵gern96-10@mail.ru

Black Sea Higher Naval Order of the Red Star

School named after P.S. Nakhimov, Pavel Dybenko str., d 1, Sevastopol, 299028, Russia, ⁵Mantulova@yandex.ru

Received 12.04.2022 y.; received in final form 14.04.2022 y.

Abstract

To increase the efficiency of wind turbines, it is necessary to study the energy characteristics of the wind flow, which is transformed by serial wind power plants. The authors conducted comparative studies of three wind turbines of different capacities. The use of wind turbines in the Russian Federation can significantly reduce emissions of harmful substances and carbon dioxide into the atmosphere.

Keywords: wind power plant, wind energy utilization factor, power characteristics, wind turbine operation efficiency.

Введение

В настоящее время ветроэнергетика является наиболее динамично развивающейся отраслью электроэнергетики. Она не требует поставок

углеводородного топлива, использует возобновляемый и экологически чистый энергоресурс и позволяет обеспечивать значительные области электрической энергией. В Крыму с его спецификой – курортно-рекреационными и заповед-

ными зонами – увеличение собственной генерации электроэнергии может проводиться лишь при выполнении жестких экологических нормативов. Поэтому, для Крыма важнейшее значение приобретает производство электроэнергии из возобновляемых источников.

Наивысшими темпами среди отраслей электроэнергетики в Европе в настоящее время развивается ветровая и солнечная энергетика, которые еще до самого конца XX в. воспринимались скорее, как эксперимент, которым занимаются отдельные энтузиасты.

Дело в том, что ветроэнергетика была не в состоянии конкурировать с традиционными видами генерации по стоимости электроэнергии. Но уже с начала XXI в. стоимость электроэнергии ВЭС стала ниже стоимости электроэнергии АЭС и достигла стоимости электроэнергии ТЭС, работающих на газе.

На сегодняшний день себестоимость электроэнергии ВЭС существенно ниже себестоимости электроэнергии ТЭС [2], работающих на российском угле — единственном органическом топливе, запасы которого имеются в мире в достаточном количестве — при соблюдении мировых требований к экологической чистоте электроэнергии.

Крым является одним из основных потребителей ветроэнергетического оборудования. На полуострове построены и эксплуатируется семь промышленных ВЭС: Донузлавская, Судакская, Сакская (с Воробьевским участком), Тарханкутская, Пресноводненская, Останинская, Восточно-Крымская. Суммарная установленная мощность ВЭС в Крыму на конец 2020 г. составила более 100 МВт. Основные показатели этих ВЭС приведены в табл. 1.

На Тарханкутской ВЭС в июне 2003 г. установлена первая в Крыму ВЭУ нового поколения — Т-600-48 номинальной мощностью 600 кВт, а на Останинской ВЭС были установлены ветротурбины FL-2500, мощностью 2500 кВт.

Ветровой электрический потенциал (ВЭП) Крыма позволяет на его территории разместить значительные ветроэнергетические мощности. Естественно, превращение крымской ветроэнергетики в отрасль «большой» электроэнергетики нуждается в решении ряда смежных вопросов, первым из которых является санация электросетей. Этот вопрос не является специфическим для развития именно ветроэнергетики — он должен быть решен в числе первоочередных, исходя из

развития в Крыму всех видов генерации электроэнергии.

Таблица 1. Основные показатели работы промышленных ВЭС в Крыму

Название	Регион	Проектная мощность, МВт
Донузлавская	Западный Крым	65,9
Восточно-Крымская	Восточный Крым	10,7
Мирновская	Западный Крым	30,0 (с Воробьевским участком)
Пресноводненская	Восточный Крым	25
Тарханкутская	Западный Крым	70
Судакская	Мыс Меганом	30
Останинская	Восточный Крым	25

Перспективы технического развития ветроэнергетики Крыма связаны с научно-техническим прогрессом в отрасли ветроэнергетического машиностроения, для которого необходимы значительные инвестиции.

Оптимизма в этом плане добавляет увеличение заинтересованности инвесторов в создании ВЭС в Крыму после вступление в действие различных международных соглашений «об изменении климата», следствием которых являются организация и начало функционирования рынка квот на выбросы парниковых газов [3].

Все это определяет развитие ветроэнергетики как одно из целесообразных направлений модернизации крымской электроэнергетики.

Постановка задачи

Как правило, ВЭУ малой мощности – до 100 кВт, производятся для автономного обеспечения объектов электрической энергией, а ветроустановки средней мощности и мегаваттного класса строятся для сетевых электростанций. К ВЭУ мегаваттного класса из ветроустановок, используемых в Крыму можно отнести Т-600-48, среднего класса USW-56-100.

Установок малой мощности используется на данный момент несколько десятков типов от 100 Вт до 20 кВт и более, поэтому далее приводятся несколько примеров для расчетов основных типов ветроустановок различной мощности, используемых для выработки электроэнергии на различных объектах Крыма [3].

Ветроэлектрическая установка типа Т-600-48

Ветроэлектрическая установка Т-600-48, используется на для выработки электроэнергии на крупных ветроэлектростанциях, предназначена для эксплуатации в районах с умеренным климатом в исполнении согласно ГОСТ 15150-69 при этом:

- высота над уровнем моря должна быть не более 1000 м;
- температура окружающего воздуха от -40 до +45°C;
- относительная влажность воздуха до 80% при температуре окружающей среды (20±5)°C.

Установка состоит из следующих основных узлов:

- ветроколесо, состоящее из трёх лопастей;
- гондола;
- устройство ориентации на ветер;
- башня;
- фундаментно-опорное кольцо;
- система электрооборудования;
- система регулирования, управления и защиты;
- детали и узлы общей сборки.

Стальная трубчатая башня ветроустановки представляет собой усечённый круговой конус, изготавливаемый из конических сегментов, которые соединяются на строительной площадке болтами. Для изготовления отдельных секций башни используются стальные стандартные трубы Х18Н10Т по ГОСТ 9941-72.

Регулирование аэродинамических характеристик ветроколеса осуществляется путём поворота лопастей вокруг их продольных осей [4]. Рабочий угол установки лопастей соответствует номинальной частоте вращения ветроколеса. Угол поворота лопастей во флюгерное положение равен 88,5°.

Основные характеристики и параметры ветроэлектрической установки приведены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики и параметры ветротурбины Т-600-48

Наименование параметра	Величина	Наименование параметра	Величина
Основные характеристики		Электрогенератор	
Мощность	600кВт	Тип	M2CG 400 XL 4/6
Номинальная скорость ветра	13/с	Вид	Индукционный

Стартовая скорость ветра	4м/с	Количество полюсов	4
Скорость выключения	25м/с	Частота вращения	1500об/мин
Способность выдерживать порывы	60м/с	Номинальное напряжение	490 В
Диаметр ротора	48м	Номинальная частота	50 Гц
Высота	60м	Номинальная мощность	600 кВт
Ротор, лопасти		Гондола	
Количество лопастей	3	Структура	Спаянная стальная конструкция
Производитель	LM	Корпус	GRP
Тип	LM 23,3	Башня	
Частота вращения ротора	23об/мин	Состав	Спаянная, стальная
Конструкция лопастей	GRP	Тип	Клиновидный цилиндр
Крыло лопасти	DU97-W-300; DU91-W2-250; FFA-W3-211; NACA63418	Внешнее покрытие	Краска металлизированная
Система контроля	Операционный блок	Высота башни	58,7 м
Контроль поворота лопастей	Гидравлический	Диаметр у нижнего фланца	3,88 м
Полная длина лопасти	23,3 м	Диаметр у верхнего фланца	2,094 м
Угол наклона	4°	Мин. толщина секции	10 мм
Крутка	12,22 град	Макс. толщина секции	22 мм
Вес одной лопасти	2800 ±100 кг	Материал башни	Сталь St 44-3
Весовые параметры		Масса	61,2 т
Гондола включая ротор	35 т		
Башня	60т		
Общий вес турбины	95т		

Результаты исследований

Приведем пример расчета энергетических характеристик одной из ВЭУ, расположенной на ветростанции возле п.г.т. Черноморское.

Мощностная характеристика ветроустановки приведена на рис.1. Используя данные для вероятности скорости ветра по градациям для местности, расположенной возле п.г.т. Черноморское, можно определить выработку электроэнергии одной ВЭУ за определенный период времени. В результате расчетов определяем объем годовой и по месячной выработки электроэнергии $E_{мес}$ (см. табл.3). На рис.2 приведена зависимость изменения годовой энерговыработки для ВЭУ Т-600-48.

Таблица 3. Выработка электроэнергии установкой Т-600-48

Месяцы	Энерговыработка мес кВт·ч
Январь	$0,18 \cdot 10^6$
Февраль	$0,17 \cdot 10^6$
Март	$0,17 \cdot 10^6$
Апрель	$0,13 \cdot 10^6$
Май	$0,1 \cdot 10^6$
Июнь	$0,1 \cdot 10^6$
Июль	$0,11 \cdot 10^6$
Август	$0,11 \cdot 10^6$
Сентябрь	$0,12 \cdot 10^6$
Октябрь	$0,14 \cdot 10^6$
Ноябрь	$0,15 \cdot 10^6$
Декабрь	$0,18 \cdot 10^6$
За год	$1,66 \cdot 10^6$

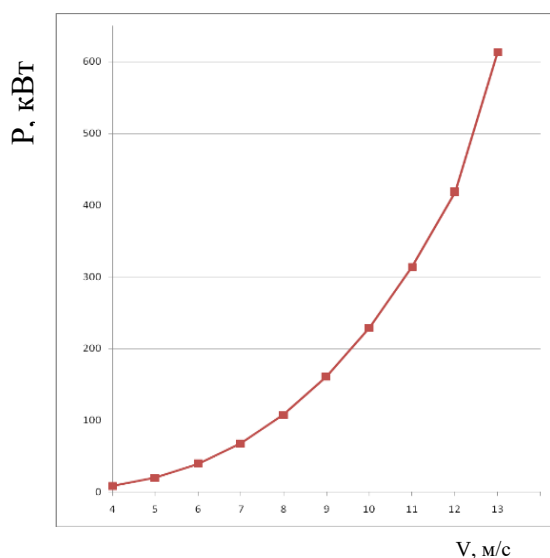


Рис.1. Мощностная характеристика ветроустановки Т-600-48

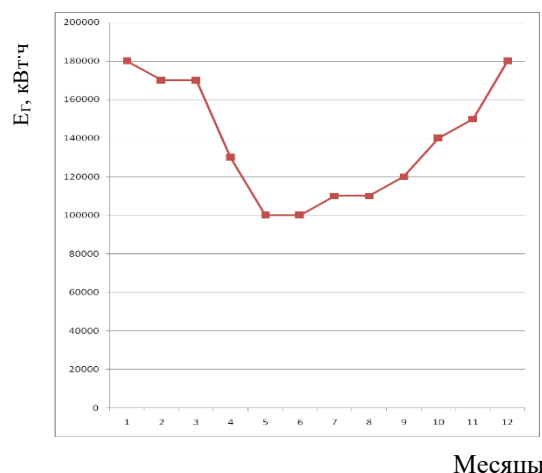


Рис.2. Зависимость объема годовой выработки электроэнергии рассчитанной по месяцам

Ветроэлектрическая установка типа USW-56-100

Ветроэлектрическая установка USW-56-100 серийно выпускается предприятием «Уинд-энерго ЛТД» и предназначена для преобразования энергии ветра в электрическую энергию промышленной частоты напряжением 380 В с непосредственным подключением в промышленную электрическую сеть через трансформатор. В таблице 4 приведены её основные характеристики.

Таблица 4. Выработка электроэнергии установкой Т-600-48

Номинальная мощность	107,5 кВт	Минимальная стартовая скорость	5 м/с
Генератор	асинхронный, трехфазный переменного тока, 380В, 50 Гц, номинальная мощность 110 кВт, КПД 94 %	Способ регулирования мощности	автоматическое изменение угла атаки лопастей.
Тип генератора	АГВ 280М 40М2	Каждая турбина оснащена встроенным микропроцессорным контролером	
Число оборотов генератора	1513 об/мин	Материал лопастей	стеклопластик
Количество лопастей	3 шт.	Трансмиссия	2 ступенчатый повышающий редуктор с передаточным числом 1:20

Башня	Из стального проката, решетчатая, оцинкованная, высота 18 м	Скорость ветра для выхода на номинальную мощность	13 м\с
Расположение лопастей	подветренное	Максимальная эксплуатационная скорость	22 м\ с
Материал лопастей	стеклопластик	Неразрушающая скорость ветра	56 м\с
Диаметр ротора	17 м.	Масса: Гондола Башня Лопасть Генератор	3700 кг
Скорость вращения ротора	72 об/мин		3720 кг
Система ориентации по ветру	пассивная		160 кг
			620 кг

Приводим пример расчета выработки электрической энергии ветроустановки USW-56-100, расположенной возле г.Судак на мысе Меганом. Используя данные для вероятности скорости ветра по градациям для местности, расположенной на мысе Меганом, можно определить выработку электроэнергии одной ВЭУ за определенный период времени. В результате расчетов определяем объем годовой выработки электроэнергии (см. табл.5). Мощностная характеристика ветроустановки приведена на рис.4. На рис.5 приведена зависимость изменения годовой энерговыработки для USW-56-100.



Рис.3. Ветроустановки USW-56-100

Таблица 5. Выработка электроэнергии установкой USW-56-100

Месяцы	Энерговыработка кВт·ч
Январь	8452,1
Февраль	8250,4
Март	8392,6
Апрель	7469,2
Май	7051,8
Июнь	7064,6
Июль	7203,9
Август	7195,6
Сентябрь	7212,7
Октябрь	7807,3
Ноябрь	7956,0
Декабрь	8458,2
За год	92514,4



Рис.4. Мощностная характеристика вет-роустановки USW-56-100

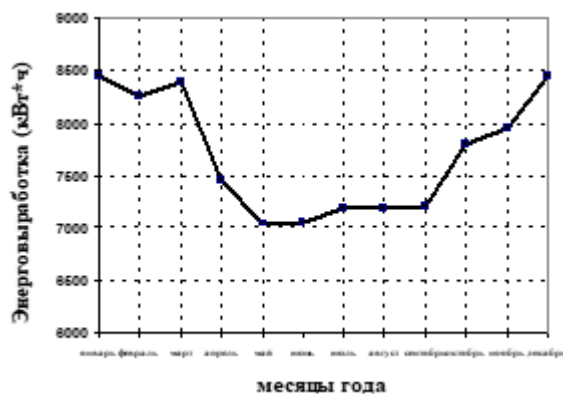


Рис.5. Зависимость объёма годовой выработки электроэнергии рассчитанной по месяцам года

Автономная ветроустановка типа АВЭУ6-4М

Ветроустановка типа АВЭУ6-4М (рис.6) номинальной мощностью 4 кВт, предназначена для обеспечения частного жилого дома. В отличие от

описанных предыдущих установок она предназначена не для работы на общую электрическую сеть, а для автономного обеспечения конкретного объекта.

Ветроагрегат предназначен для преобразования энергии ветра в электрическую и может быть использован в качестве источника негарантированно электропитания в составе ветроэнергетических установок различного назначения – водоподъемных, зарядных, отопительных, горячего водоснабжения и др [1].

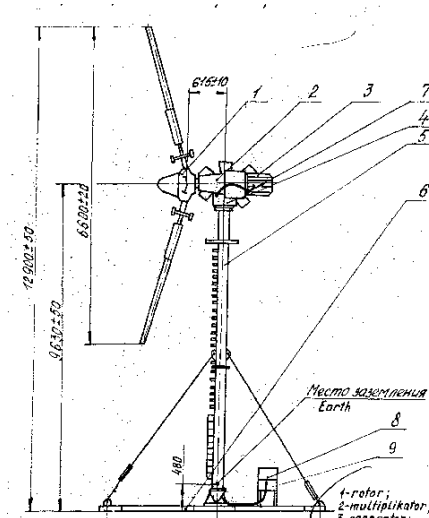


Рис.6. Габаритные и установочные размеры ветроагрегата

1 – ветроколесо; 2 – редуктор цилиндрический; 3 – генератор; 4 – редуктор червячный; 5 – башня; 6 – фундамент; 7 – кабель; 8 – блок автоматики; 9 – блок управления

Основные технические данные и характеристики ВЭУ АВЭУ6-4М. приведены в табл. 6.

Таблица 6. Основные технические данные и характеристики

Технические данные	Значение
1. Номинальная мощность агрегата ($\cos \varphi=0,8$ отстающий), кВт	4,0
2. Расчетная скорость ветра, м/с	9,0
3. Номинальное напряжение на зажимах генератора, В	400
4. Номинальная частота тока, Гц	50
5. Предельное отклонение от номинального значения мощности и напряжение, %	± 10
6. Предельные отклонения частоты тока, Гц	± 5
7. Масса (без арматуры фундамента), не более кг	1210
8. Диапазон рабочих скоростей, м/с	4,5...40

9. Диапазон скоростей ветра, ограничивающий работу регулятора (диапазон регулирования), м/с	9...25
10. Тип генератора	СГВМ-4 У1
11. Способ регулирования частоты вращения ветроколеса: центробежно-аэродинамический поворот лопастей	
12. Установ. головки на ветер	виндовый механизм
13. Диаметр ветроколеса, м	6,6
14. Число лопастей, шт.	2
15. Номинальная частота вращения ветроколеса при номинальной нагрузке и расчетной скорости ветра, об/мин.	230
16. Отклонение частоты вращения от номинальной величины, %	± 10
17. Расчетная скорость ветра, при которой обеспечивается отдача номинальной мощности генератора, м/с, не более	9,0
18. Скорость ветра при которой ветроагрегат на холостом ходу развивает номинальную частоту вращения, м/с, не более	6,5
19. Число фаз	3

Ветроагрегат в работающем состоянии должен выдерживать без разрушения мгновенные порывы ветра до 50 м/с.

Экономически целесообразно использовать ветроагрегат в составе установок в районах со среднегодовым значением скорости ветра 6 м/с и более.

При использовании ветроагрегата при скоростях ветра ниже расчетной (9 м/с) рекомендуется пользоваться графиком суточной нагрузки жилого дома [5], приведенного в таблице 7.

Таблица 7. График нагрузки одноквартирного жилого дома

Скорость ветра, м/с	Мощность, отдаваемая в нагрузку, Вт	Частота тока, Гц	Примерный перечень включаемых приборов
4,5	850	33	Электрообогревательные приборы
5,5	1500	40	Электромеханические устройства до 1кВт, освещение 1-кв. дома.
6,5	2350	43	Выпрямительное устройство, освещение
7,0	3150	45	Радиостанция, телевизор, освеще-

			щение нескольких помещений общей площадью 250 м ²
--	--	--	--

По устойчивости к воздействию климатических факторов ветроагрегат удовлетворяет техническим требованиям ГОСТ 15150-69. В таблице 8 приведены основные характеристики электрогенератора.

Таблица 8. Основные технические данные и характеристики генератора

Технические данные	Значение
Тип генератора (изготовлен на заводе «Тяжэлектромаш»)	СГВМ-4/1500
Мощность, кВт	4
Коэффициент мощности	0,8 (отстающий)
Напряжение, В	400
Ток, А	7,22
Частота, Гц	50
Частота вращения, об/мин.	1500
Число фаз	3

Генератор самовозбуждается без постороннего источника питания. Регулирование напряжения – автоматическое. Режимы работы генератора – продолжительный S1 по ГОСТ 183-74.

На ветроэнергокомплексе используются аккумуляторы Santec производства КНР в количестве 20 шт, их основные параметры приведены в табл. 9.

Таблица 9. Параметры аккумуляторных батарей.

Технические данные	Значение
Емкость, Ач	150
Напряжение, В	12
Размеры, мм	532×207×240
Вес, кг	47,5

Приведем пример расчета энергетических характеристик ВЭУ АВЭУ6-4М. мощностью 4 кВт для частного дома, расположенного в п.г.т. Черноморское. Аналогично вычислениям для Т-600-48 и USW-56-100 вычисляем по месячную энерговыработку (см.табл.10). На рис. 7 и 8 приведены мощностная характеристика и энерговыработка по месяцам.

Таблица 10. Выработка электроэнергии установкой АВЭУ6-4М

Месяцы	Энерговыработка кВт·ч
Январь	1202,4
Февраль	1143,4

Март	1189,2
Апрель	1217,8
Май	668,4
Июнь	659,6
Июль	702,5
Август	711,8
Сентябрь	736,3
Октябрь	568,5
Ноябрь	1021,6
Декабрь	1202,4
За год	11023,8

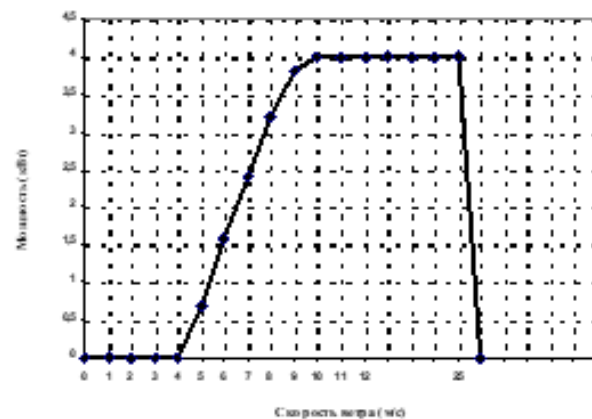


Рис.7. Мощностная характеристика ветроустановки АВЭУ6-4М

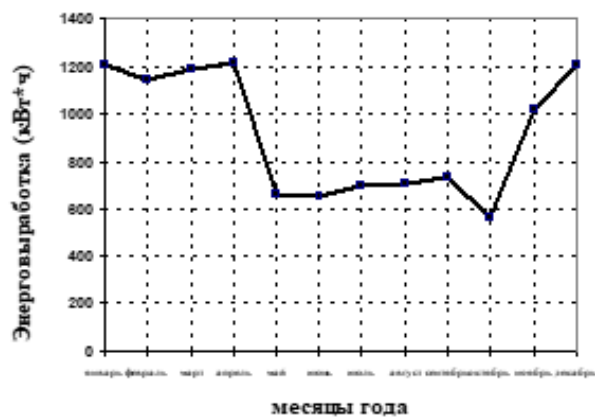


Рис.8. Зависимость объема годовой выработки электроэнергии рассчитанной по месяцам года

Гарантийный срок эксплуатации всех ветроустановок до 5 лет. Однако, как показывает практика, этот срок может составлять в несколько раз большее время.

Из представленных 3-х ветротурбин две используются на крупных ветростанциях, работающих параллельно с общей энергосетью, и обладают более низким коэффициентом использования номинальной мощности. Это происходит из-за того, что свою номинальную мощность они

вырабатывают при скорости ветра 13 м/с. При этом третья установка АВЭУ6-4М выходит на номинал при скорости 9-10 м/с, при этом она предназначена для обеспечения автономных потребителей и строиться преимущественно на дачных участках, фермерских хозяйствах и на территории отдельных жилых строений. Однако при массовом использовании такой установки возможно значительно сократить выработку электрической энергии за счет традиционных углеводородных видов топлива и улучшить экологическую составляющую.

Выводы

Из проведенных исследований можно сделать основные следующие выводы и дать рекомендации об использовании того или другого типа ветротурбин для генерации электрической энергии:

- Достаточно долгий срок эксплуатации в крымском регионе ветровых электрических станций показал, что для дальнейшей их эффективной эксплуатации необходимо в срочном порядке проводить модернизацию ветротурбин, работающих на общую энергосистему [6]. Т. е. необходимо проводить замену устаревших маломощных ВЭУ с низким коэффициентом использования номинальной мощности на более мощные ветроустановки, например, уже используемые FL-2500, которые имеют более высокий коэффициент.
- Для увеличения ветрогенерации и сокращения использования органических топлив на традиционных тепловых электростанциях Крым авторами предлагается использование распределенной генерации, в том числе за счет установки ветротурбин малой мощности для индивидуальных потребителей.
- Использование Крымского региона и города Федерального подчинения Севастополя в качестве оздоровительного центра юга России в его курортно-рекреационной системе означает прежде всего улучшение экологической составляющей, в том числе за счет использования возобновляемой энергетики, в частности увеличения строительства ветровых станций.

Список литературы

1. Бекиров Э.А., Даниленко А.И. Оценка показателей надежности эксплуатации ветроэлектрического оборудования промышленной ветровой

электростанции // Материалы Третьего международного форума «Возобновляемая энергетика: пути повышения энергетической и экономической эффективности» / – 17-19 ноября, Крым, г. Ялта, 2015. – С.69-80

2. Вологдин С.В. Анализ различных сценариев энергоснабжения Крыма с учетом режимов работы солнечной электростанции /Якимович Б.А., Кувшинов В.В., АбдАли Л. М., Какушина, Е. Г. и другие // Appl. Sol. Энергия, 2019, Том 55, № 4, С. 229–234.
3. Зайченко В.М. Направления развития энергетики /Чернявский А.А., Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Абейдулин С.А. //Энергетические установки и технологии. 2019 - Т. 5. № 3. С. 53-61.
4. Кувшинов В.В. Перспективы развития малой ветроэнергетики в российской федерации. / Какушина Е.Г., Власов Н.А., Бордан Д.Ф., Нашев Р.А.//Энергетические установки и технологии - 2021. Т. 7. № 3. С. 64-69.
5. Зайченко В.М. Возможности аккумулирования электрической энергии/ Зайченко В.М., Кувшинов В.В., Сухенко А.К., Бордан Д.Ф., Жиганов И.Г.//Энергетические установки и технологии - 2021. Т. 7. № 3. С. 78-87.
6. Абдали Л.М. Анализ и моделирование автономной фотоэлектрической системы с использованием среды matlab/simulink/ Исса Х.А., Али К.А., Кувшинов В.В., Бекиров Э.А.// Строительство и техногенная безопасность. 2021. № 21 (73). С. 97-105.

References

1. Bekirov E.A., Danilenko A.I. Evaluation of indicators of reliability of operation of wind-electric equipment of an industrial wind power plant // Materials of the Third International Forum "Renewable energy: ways to increase energy and economic efficiency" / - November 17-19, Crimea, Yalta, 2015. - pp.69-80
2. Vologdin S. V. Analiz razlichnykh scenariy energosnabzheniya Kryma s uchedom rezhimov work solar power plants / Yakimovich B. A., Kuvshinov V. V., AbdAli L. M., Kakushina, E. G. et al. / / Appl.Sol. Energy, 2019, Vol. 55, no. 4, pp. 229-234.
3. Zaichenko V. M. Directions of energy development / Chernyavsky A. A., Kuvshinov V. V., Kakushina E. G., Abeidulin S. A. //Power plants and technologies. 2019-Vol. 5. No. 3. pp. 53-61.
4. Kuvshinov V.V. Prospects for the development of small wind power in the Russian Federation. / Kokushina E.G., Vlasov N.A., Bordan D.F., Nagiyev R.A.//Power plants and technologies - 2021. Vol. 7. No. 3. pp. 64-69.
5. Zaichenko V.M. Possibilities of accumulating electric energy/ Zaichenko V.M., Kuvshinov V.V., Sukhenko A.K., Bordan D.F., Zhiganov I.G.//Power installations and technologies - 2021. Vol. 7. No. 3.

pp. 78-87.

6. Abdali L.M. Analysis and modeling of an autonomous photovoltaic system using matlab/simulink/ Is-sa H.A., Ali K.A., Kuvshinov V.V., Bekirov E.A.// Construction and technogenic safety. 2021. No. 21 (73). pp. 97-105.

УДК 620.92

Исследование солнечных установок с системой накопления электрической энергии

В.В. Кувшинов¹, Е.Г. Какушина², Власов Н.А.³, Бордан Д.Ф.⁴, Березняк В.А.⁵

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, ¹kuvshinov.vladimir@gmail.com ²littie@mail.ru, ³vlasjv@mail.ru,
⁴dante477@mail.ru, ⁵gern96-10@mail.ru

Статья поступила 26.04.2022 г.; после доработки 28.04.2022 г.

Аннотация

Предложен проект солнечной миниэлектростанции для подключения автономного, рассчитаны показатели солнечного излучения в Крыму, проведены исследования модулей и аккумуляторных батарей фотоэлектрической станции. Показана целесообразность массового использования предложенных солнечных установок распределенной генерации в районах ограниченных пропускных способностей электрических сетей.

Ключевые слова: фотоэлектрический модуль, солнечная станция, энергокомплекс, автономная система электро-снабжения, система аккумулирования энергии, фотоэлектрический преобразователь, поликремневые элементы.

Research of solar installations with an electric energy storage system

V.V. Kuvshinov¹, E.G. Kakushina², Vlasov N.A.³, Bordan D.F.⁴, Bereznayak V.A.⁵

Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia,
¹kuvshinov.vladimir@gmail.com ²littie@mail.ru, ³vlasjv@mail.ru, ⁴dante477@mail.ru, ⁵gern96-10@mail.ru

Received 26.04.2022 y.; received in final form 28.04.2022 y.

Abstract

A project of a mini solar power plant for connecting an autonomous one has been proposed, solar radiation indicators in the Crimea have been calculated, and studies of modules and batteries of a photovoltaic plant have been conducted. The expediency of mass use of the proposed distributed generation solar installations in areas of limited capacity of electric networks is shown.

Keywords: photovoltaic module, solar station, power complex, autonomous power supply system, energy storage system, photovoltaic converter, polysilicon elements.

Введение

Среди регионов России Крым и Севастополь обладают одним из наибольших энергетических потенциалов альтернативных возобновляемых источников энергии, в частности солнечной энергии. Их использование в регионе может рассматриваться как одна из реальных возможностей сокращения объемов потребления традиционных топливно-энергетических ресурсов (нефти, природного газа, угля), природные запасы, которых постоянно истощаются [1].

Анализ реального положения в топливно-

энергетическом комплексе Крыма и Севастополя, а также экологического состояния окружающей среды в регионе свидетельствуют о необходимости и целесообразности более широкого использования солнечной энергии, с целью экономии тепла и топлива на существующих традиционных тепловых источниках.

Использование солнечной энергии для электроснабжения индивидуальных потребителей является одним из путей обеспечения энергетической безопасности Республики Крым и Севастополя и занимает важное место в развитии энергетики полуострова. Имеющиеся в Крыму

солнечные фотоэлектрические станции передают выработанную электроэнергию непосредственно в общую энергосистему. Однако непостоянство потока солнечной энергии приводит к неравномерной выработке энергии этими станциями, и как следствие оказывает негативное воздействие на электрические сети и подстанции. Также эти электростанции не решают задачу надёжного поставщика электрической энергии для Крыма. Из-за постоянных перебоев с электроснабжением многие потребители в Крыму установили аккумуляторные системы для бесперебойного электроснабжения.

В условиях нынешнего положения в сфере электроснабжения Крыма настала пора в срочном порядке устанавливать дополнительные мощности по выработке электрической энергии. Однако все эти меры не предусматривают то, что для эффективной работы этих систем необходимо постоянное энергообеспечение полуострова традиционными энергоресурсами (угледородами) в размерах, значительно превышающих их средние поставки за последние годы. С учетом всего выше сказанного развитие альтернативных (ветровых и солнечных) энергоустановок в Крыму является одной из приоритетных задач.

Потребление электроэнергии на полуострове последние годы относительно стабильно и составляет порядка 5,5-6 млрд. кВтч, выросло более чем в 1,5 раза по сравнению с началом 2000-х годов.

Это объясняется постепенным восстановлением хозяйственной активности в реальном секторе экономики после провала 90-х годов прошлого столетия. Тем не менее, до сих пор уровень потребления энергии советского периода (1990 года) так и не достигнут (в 1990 г. потреблено более 7,7 млрд. кВтч) [1].

За этот период существенно изменилась структура потребления электроэнергии. Если в 1990 г. более трети всего потребления приходилось на промышленных потребителей и четверть – сельскохозяйственных потребителей, то на сегодняшний день их доли составляют соответственно 18 % и 6 %. За это же время почти в 3 раза вырос уровень потребления электроэнергии населением (с 15 до 46 %) и непромышленными потребителями (с 17 до 24 %). Это свидетельствует, во-первых, о высокой степени оснащенности населения бытовой и другой сложной электронной техникой, и, во-вторых, структурными изменениями в экономике, ростом удельного веса непроизводственного сектора (курортно-рекреационный комплекс, торговля,

частный бизнес в сфере услуг, жилищно-коммунальное хозяйство и т.п.) на фоне мер по внедрению более энергосберегающего оборудования в производственном секторе экономики [5]. Рост непроизводственного сектора влечет выработку излишек электроэнергии в осенне-весенний период. Данную электроэнергию возможно передавать в другие регионы.

Постановка цели исследования

Одним из перспективнейших направлений использования солнечной энергетики является применение фотоэлектрических систем (ФЭС) – систем прямого преобразования световой энергии солнечного излучения в электричество. Преимущества ФЭС прямого преобразования состоят в том, что они не имеют движущихся механических частей, не нуждаются в воде или другом теплоносителе. В зависимости от конструктивного исполнения ФЭС практически не нуждаются в обслуживании [2].

С целью получения характеристик для эффективной работы фотоэлектрического модуля проводились эксперименты по определению различных режимов работы двухстороннего [4] серийного заводского модуля 110-Д.

Исследования характеристик фотоэлектрического модуля проводились при различных температурных показателях, различной солнечной освещенности в разное время года, эти данные сравнивались с значениями вольт-амперной характеристики модуля (см. рисунок 1).

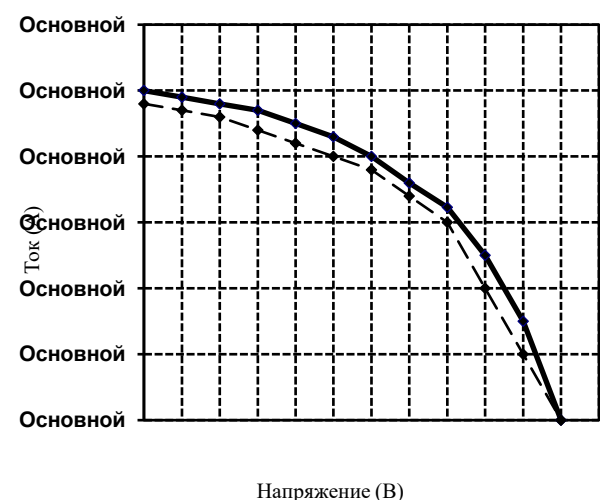


Рис. 1 Вольт-амперная характеристика модуля 110-Д: сплошная линия - заводская ВАХ; пунктирная линия - получена при освещенности 990 Вт/м²

Исследования фотоэлектрического модуля проводились в течение 2021-2022 года (с осени

по весну). Все эксперименты проводились в натуральных условиях на открытой площадке, при естественном солнечном освещении.

Результаты проведенного исследования

В таблице 1 приведены сезонные данные вольт-амперных характеристик (ВАХ) модуля 110-Д, полученные при прямых измерениях тока и напряжения в зависимости от различных значений нагрузочного сопротивления R_n [6].

По данным таблицы 1 можно говорить о различии в значениях мощности при одинаковой освещенности, в зависимости от времени года.

Таблица 1. Данные вольтамперных измерений модуля 110-Д

Данные измерений (зима)										
I (A)	4,5	4,4	4,2	4	3,5	3	4	3,5	3	2,5
U (В)	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36
Данные измерений (лето)										
I (A)	5	4,9	4,8	4,7	4,5	4,2	4	3,6	3,23	3
U (В)	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36
Основные характеристики модуля										
пара- метры	I к.з. (A)	U хх(В)	I _{max} (A)	U _{max} (В)	P _{max} (Вт)					
зима	4,5	36	3	32	96					
лето	5	36	3,3	32	106					
Освещенность 900 Вт/м ² (одинакова для обоих изме- рений)										

По мощностным характеристикам можно говорить о качестве работы модуля (рисунок 2). По мощностным характеристикам можно говорить, о том какую выработку электрической энергии мы получим в данное время года, суток, при данных климатических факторах. Эти результаты необходимы при расчетах систем солнечного электроснабжения, при проектировании фотоэлектрических станций.

Для получения сетевой электроэнергии данные на графиках полностью устаканяют проектировщиков, однако для зарядки аккумуляторной станции необходимо учитывать ещё ток и напряжение заряда. В результате работы автономной системы с аккумуляторами будут определенные потери, которые связаны с определенными параметрами заряда АКБ. Целью работы является определение этих возможных потерь.

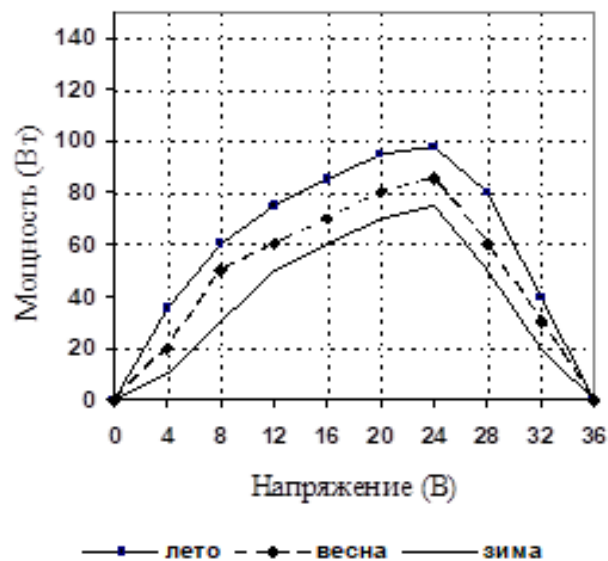


Рис. 2 Мощностные характеристики модуля 110-Д (данные получены при освещенности 800 Вт/м²)

На экспериментальной площадке жилого дома, в течение 2016-2020 г.г. проводились исследования серийных фотоэлектрических модулей немецкого производства 110-Д (рисунок 3). Фотоэлектрический модуль 110-Д производится германскими, китайскими и российскими предприятиями. Модуль состоит из поликремневых элементов с КПД около 16-17 %.

Исследования проводились на открытой территории в ясные солнечные дни при постоянной освещенности [3]. Главной целью данного исследования было получение зависимостей изменения выходной мощности фотоэлектрической батареи в разные месяцы года. На графиках (рисунок 4) приведены усредненные вольт-амперные и мощностные характеристики, полученные при испытаниях модулей.

Значения номинальной мощности заводских измерений [4] модуля 110-Д соответствуют значениям около 30 В и 4 А. Однако при натуральных испытаниях значение напряжения в рабочей точке с увеличением освещенности в весенние месяцы падает до 24 В, при этом мощностные характеристики сохраняются, а значения тока растут сильнее, чем по результатам заводских испытаний. Коэффициент преобразования солнечных элементов модуля рассчитываем, используя заводские данные и формулы. Коэффициент преобразования солнечной батареи (табл. 2), различается в разные месяцы. Так в январе он наибольший, а в мае — наименьший.

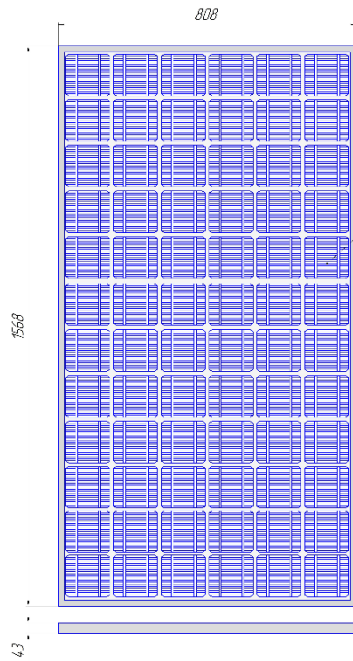


Рис. 3. Исследования модулей 110-Д

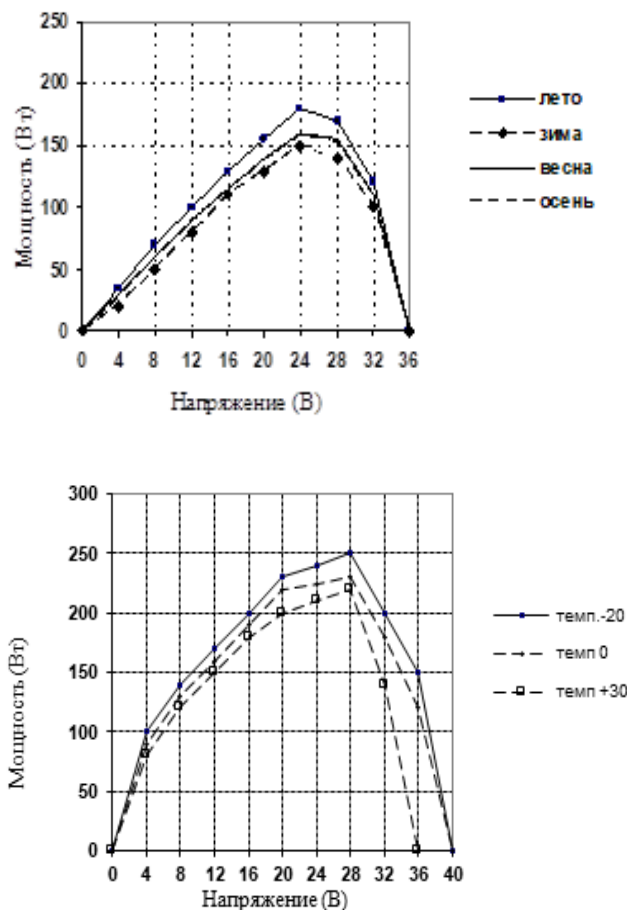


Рис. 4 Вольтамперная и мощностная характеристики двух модулей 110-Д для разных месяцев года (данные получены при температурах около 15оС, и различных освещенностях)

Таблица 2. Средние значения основных характеристик модуля 110-Д

Ме- сяцы	Мощность падающего излучения (освещен- ность), Вт/м ²	Тем- пера- тура воздуха °С	Макси- мальная мощ- ность модуля 110-Д	Коэф- фици- ент пре- обра- зования солнеч- ных элемен- тов мо- дуля 110-Д
Январь	640	5	90 Вт	17,2 %
Март	740	15	100 Вт	17 %
Апрель	900	20	105 Вт	16,8 %
Май	950	25	110 Вт	16,6 %

Полученные результаты помогут в проектировании фотоэлектрических установок. Причем эти установки могут использоваться как для индивидуального потребителя, так и для крупных фотоэлектрических станций. При учете наших данных можно значительно сократить потери при работе автономных и сетевых фотоэлектрических станций.

При проведении экспериментов была получена зависимость зарядной ёмкости аккумулятора в зависимости от времени зарядки (рисунок 5). При этом солнечная освещённость контролировалась люксметром и в момент проведения эксперимента была постоянной и составляла 850 Вт/кв.м.

Зависимость относительной ёмкости выражается как функция: $c = f(t)$, при постоянной освещённости $E = 850$ Вт/кв.м.

Как видно из графика за 1 ч аккумулятор заряжается на 15 % номинальной ёмкости.

Заряд аккумулятора происходит от 30 % до 98% ёмкости. Время заряда до 98 % составляет 8-14 часов. Ток заряда соответствует ёмкости делённой на 10,6.

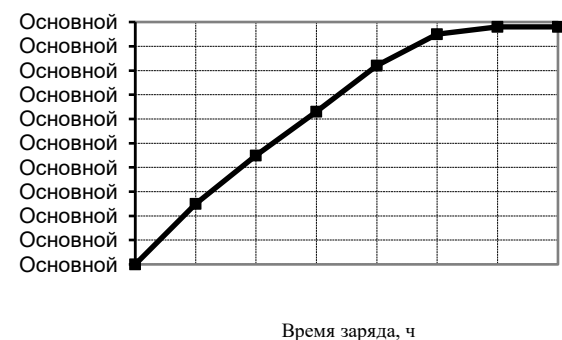


Рис. 5. Зависимость относительной ёмкости заряда аккумулятора от времени заряда, при освещённости

850 Вт/м²

Большой ток на аккумулятор подавать нельзя, т.к. он выйдет из строя.

Для данного типа ток составляет 6 А, считаем время заряда аккумулятора:

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

где c – ёмкость аккумулятора (А*ч), $I_{\text{заряда}}$ – ток заряда (А).

При измерении потока солнечной радиации, можно определить зависимость тока заряда от солнечной освещённости: $I = f(E)$.

Эта зависимость приведена на рисунке 6.

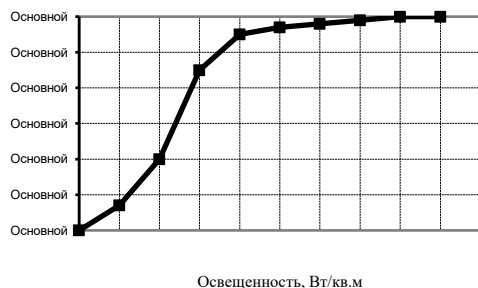


Рис. 6. Зависимость ток заряда от освещённости

Как видно из графика зависимость $I = f(E)$, является нелинейной в отличие от зависимости тока к.з. от освещённости (см. рисунок 6).

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

Выводы

Подводя результаты проведенного исследования, можно утверждать, что:

- В настоящее время установленные мощности энергетической зоны г. Севастополя недостаточны и требуют модернизации. Установка автономных солнечных электрических систем малой мощности способно значительно улучшить электроснабжение индивидуальных потребителей дачных массивов и частного сектора;
- Мощность собственных установленных источников генерации способна обеспечить избыточное электроснабжение потребителей электроэнергии, однако пропускная

способность существующих линий явна недостаточна. Предлагается за счет распределенной генерации увеличить эффективность поставок электрической энергии потребителям;

- Избыточную электрическую мощность генерируемыми фотоэлектрическими мини электростанциями можно отдавать в электрические сети, в количестве достаточном для обеспечения потребителей в других районах Крыма.

Список литературы

1. Багров Н.В. Солнечная энергетика для устойчивого развития Крыма./ Боков В.Н., Муровский С.П., Бекиров Э.А.// Симферополь: «Доля».- 2009.- 294 с.
2. Вологдин С.В. Анализ различных сценариев энергоснабжения Крыма с учетом режимов работы солнечной электростанции /Якимович Б.А., Кувшинов В.В., АбдАли Л. М., Какушина, Е. Г. и другие // Appl. Sol. Энергия, 2019, Том 55, № 4, С. 229–234.
3. Бордан Д.Ф. Потенциал развития тепловой солнечной энергетика для нужд коммунального хозяйства /Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Олейников А.М., Гхашим М.// Энергетические установки и технологии. 2021 - Т. 7. № 1. С. 46-52.
4. Кувшинов В.В. Система электроснабжения жилого комплекса на базе преобразователей солнечной энергии с возможностью генерации электрической энергии в общую энергосеть/ Сперанский М.Ю., Смокталь Н.Н., Жиганов И.Г., Бордан Д.Ф.// Энергетические установки и технологии – 2022. Т. 8. № 1. С. 96-105.
5. Кувшинов В.В. Повышение эффективности работы солнечных и ветровых электростанций за счет применения накопителей энергии/ Какушина Е.Г., Власов Н.А., Березняк В.А., Гхашим М.// Энергетические установки и технологии – 2022. Т. 8. № 1. С. 90-95.
6. Муровский С.П. Разработка эффективной системы автономного энергоснабжения удаленных объектов на основе нетрадиционных возобновляемых источников энергии./ Кузнецов П.Н. // Строительство и техногенная безопасность.- 2012.- № 43.- С. 122-126.

References

1. Bagrov N.V. Solar energy for sustainable development of Crimea./ Bokov V.N., Murovsky S.P., Bekirov E.A.// Sympheropol: "Share".- 2009.- 294 p.
2. Vologdin S. V. Analiz razlichnykh scenariy energosnabzheniya Kryma s uchedom rezhimov work solar power plants / Yakimovich B. A., Kuvshinov V. V., AbdAli L. M., Kakushina, E. G. et al. / /

- Appl.Sol. Energy, 2019, Vol. 55, no. 4, pp. 229-234.
3. Bordan D. F. Potentiality of the development of thermal solar energy for the needs of the municipal economy /Kuvshinov V. V., Kaku-shina E. G., Oleynikov A.M., Ghashim M. // Energy and technology. 2021. Vol. 7. no. 1. pp. 46-52.
 4. Kuvshinov V.V. Power supply system of a residential complex based on solar energy converters with the possibility of generating electric energy into a common power grid/ Speransky M.Yu., Smoktal N.N., Zhiganov I.G., Bordan D.F.// Power plants and technologies - 2022. Vol. 8. No. 1. pp. 96-105.
 5. Kuvshinov V.V. Improving the efficiency of solar and wind power plants through the use of energy storage devices/ Kakushina E.G., Vlasov N.A., Berезnyak V.A., Ghashim M.// Power installations and technologies - 2022. Vol. 8. No. 1. pp. 90-95.
 6. Murovsky S.P. Development of an effective system of autonomous power supply to remote facilities based on non-traditional renewable energy sources./ Kuznetsov P.N. // Construction and technogenic safety. 2012. No. 43. pp. 122-126.

УДК 620.92

Разработка проекта комбинированного гелиопрофиля для автономного энергосберегающего дома

В.В. Кувшинов¹, Н.В. Шахова², Н.А. Власов³,
В.А. Березняк⁴, Д.Ф. Бордан⁵

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

¹kuvshinov.vladimir@gmail.com, ²nvshakhova@sevsu.ru, ³vlasov@mail.ru, ⁴btreznak@mail.ru,
⁵bordan79@mail.ru.

Статья поступила 04.05.2022 г.; после доработки 06.05.2022 г.

Аннотация

Предложен проект комбинированного термофотовольтаического гелиопрофиля для подключения автономного потребителя, рассчитаны показатели солнечного излучения в Крыму, проведены исследования модулей и аккумуляторных батарей фотовольтаической станции. Показана целесообразность массового использования предложенных солнечных установок комбинированной генерации для индивидуальных жилых строений.

Ключевые слова: фотовольтаический преобразователь, термофотовольтаический модуль, солнечный гелиопрофиль, автономный энергокомплекс, автономная система теплоэлектрообеспечения, кремневые элементы.

Development of a combined solar profile project for an autonomous energy-saving house

V.V. Kuvshinov¹, N.V. Shakhova², N.A. Vlasov³, V.A. Bereznyak⁴, D.F. Bordan⁵

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

¹kuvshinov.vladimir@gmail.com, ²nvshakhova@sevsu.ru, ³vlasov@mail.ru, ⁴btreznak@mail.ru,
⁵bordan79@mail.ru.

Received 04.05.2022 y.; received in final form 13.04.2022 y.

Abstract

A project of a combined thermo-photovoltaic solar profile for connecting an autonomous consumer is proposed, solar radiation indicators in the Crimea are calculated, studies of modules and batteries of a photovoltaic station are carried out. The expediency of mass use of the proposed combined generation solar installations for individual residential buildings is shown.

Keywords: photovoltaic converter, thermophotovoltaic module, solar helioprofile, autonomous power complex, autonomous thermal power supply system, silicon elements.

Введение

Использование солнечных установок для обеспечения тепловой и электрической энергией автономного потребителя является одним из перспективных направлений ресурсо- и энергосбережения не только для территории Крыма, но и для большинства регионов РФ.

Для экономии материалов, площадей и

времени сборки солнечные установки предлагается совмещать с крышей зданий и сооружений. Тепловые солнечные установки, совмещенные с крышей зданий уже несколько лет устанавливаются в различных регионах и успешно работают. Эти установки имеют длину до 7 м и состоят из отдельных секций шириной 15 см, что дает возможность покрывать ими

площади различных размеров и конфигурации.

Постановка задачи

Для более эффективного использования солнечной энергии предлагается использовать комбинированные установки, вырабатывающие одновременно тепловую и электрическую энергию.

Принципиальная схема энергетического комплекса для обеспечения автономного потребителя изображена на рис. 1.

В этой схеме показаны основные узлы солнечных установок и тепловых насосов для выработки тепловой и электрической энергии. Условное обозначение установки ТЕПС – что означает тепловой энергетический профиль для утилизации (преобразования) солнечной энергии. ТЕПС® – это конструкция из гелиопанелей (для утилизации солнечного тепла). В эту установку также входит система (Sola Tube®). Это система световодов (для дневного освещения помещений). И ещё одна система Solar star®. Это система вентиляции чердачного помещения за счет солнечного света

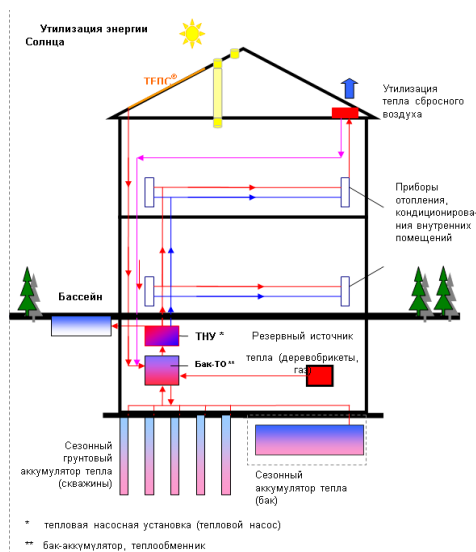


Рис. 1. Солнечная установка для автономного потребителя

Принципиальная схема альтернативного тепло-энергообеспечения объекта малой этажности с применением инновационных энергоэффективных технологий на основе использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии изображена на рис. 2. На этой схеме показаны основные узлы и части всей установки с

учетом преобразования тепловой и электрической энергии.

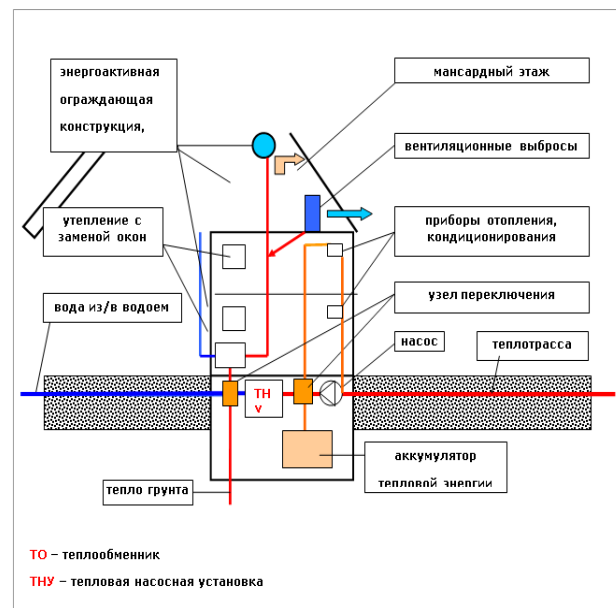


Рис. 2. Принципиальная схема альтернативного тепло-энергообеспечения объекта малой этажности с применением инновационных энергоэффективных технологий на основе использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии

Принципиальная схема альтернативного тепло-энергообеспечения многоэтажного объекта с применением инновационных энергоэффективных технологий на основе использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии изображена на рисунке 3.

В этой системе в отличие от систем изображенных на рис.1 и рис. 2 применены инновационные методы для преобразования тепловой и электрической энергии.

На схеме на рис. 3 добавлены некоторые дополнительные узлы и устройства, предназначенные для более эффективного преобразования всего спектра солнечной радиации.

На полноразмерные промышленные тепловые гелиопрфили ТЕПС были установлены фотоэлектрические элементы для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии. Теплопоглощающая пластина с фотоэлементами является типичным абсорбером плоского солнечного коллектора.

Циркулирующий теплоноситель охлаждает фотоэлементы, за счет чего растёт эффективность их работы и увеличивается суммарная выработка электроэнергии (рис. 4).

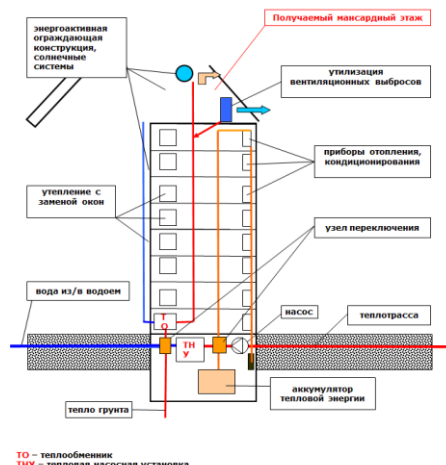


Рис. 3. Принципиальная схема альтернативного тепло-энергообеспечения многоэтажного объекта с применением инновационных энергоэффективных технологий на основе использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии

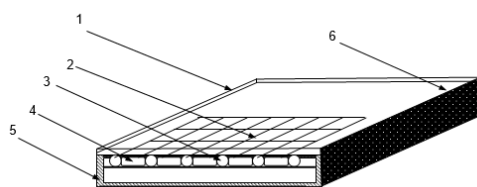


Рис. 4. Устройство комбинированного коллектора с воздушно-жидкостным теплоносителем: 1 – верхнее остекление; 2 – панель с солнечными элементами; 3 – трубки для жидкого теплоносителя; 4 – каналы для воздуха; 5 – теплоизоляция; 6 – корпус.

Результаты исследований

Мощность комбинированной установки равна сумме её тепловой и электрической части. Солнечные элементы находятся в нижней части приемной поверхности, где температура теплоносителя наименьшая. Измеряя освещенность, температуры на входе и выходе в гелиоколлектор, расход теплоносителя и значения тока и напряжения в рабочей точке, можно производить расчеты всей комбинированной установки по формуле 1. Где показаны тепловая мощность гелиосистемы и электрическая мощность кремниевых фотопреобразователей.

$$Q_u = S_{СК} G C_p (T_{вых} - T_i)$$

$$P_{сб} = E_o S_{СК} \eta_{ФЭП} \quad (1)$$

Комбинированный солнечный коллектор

имеет более высокую эффективность, а также при охлаждении солнечных элементов, сохраняется их максимальный КПД.

Сравнительная тепловая выработка солнечных установок с фотоэлектрическими преобразователями и чисто теплового гелиоколлектора одинаковых размеров приведена на рис. 5. На графике приведены различия в нагреве теплоносителя в °С. Как видно эти данные отличаются всего на 1-2 градуса, что составляет эквивалент около 10-15 Вт. Однако фотоэлементы комбинированного гелиопрофиля вырабатывают дополнительно с каждого квадратного метра рабочей поверхности ещё до 150 Вт электрической мощности.

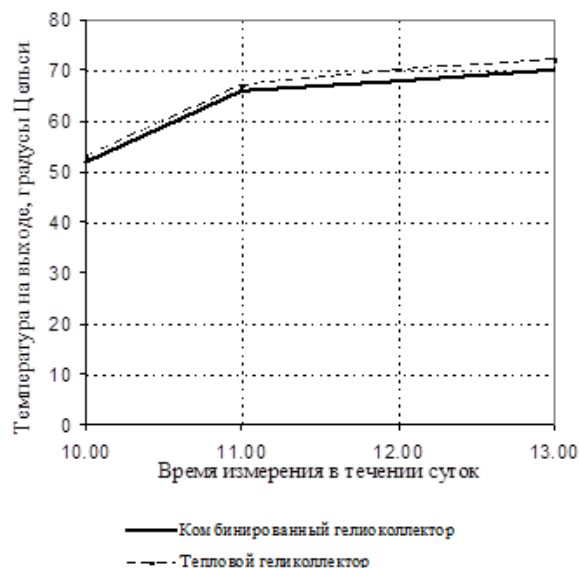


Рис. 5. Сравнительная тепловая выработка солнечных установок в °С.

При совместной работе фотоэлементов и теплового абсорбера, было получено увеличение общего КПД установки до 85 % при тепловом КПД 70 % и фотоэлектрическом 15 %.

Проведенный анализ существующих энергетических установок для генерации тепловой и электрической энергии для автономных систем индивидуальных потребителей показал, что преобразование потока солнечной радиации происходит с низкой эффективностью, за счет малого КПД солнечных элементов. Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии позволяет значительно поднять коэффициент преобразования. В результате этой работа была частично решена важная задача – обеспечение энергетической системы за счет термофотоэлектрических солнечных гелиопрофилей расположенных на крышах домов.

Заключение

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие основные выводы:

- Существующие серийные тепловые и фотоэлектрические солнечные установки имеют недостаточный коэффициент преобразования и не могут эффективно использоваться для энергоснабжения автономных объектов.
- Разработанная солнечная энергосистема с комбинированным абсорбером для выработки тепловой и электрической энергии, созданная на основе серийного полноразмерного промышленного гелиопрофиля и серийных фотопреобразователей позволяет значительно поднять эффективность выработки тепловой и электрической энергии.
- Проведенные экспериментальные исследования комбинированной солнечной установки, проведенные при сравнении характеристик двух гелиоустановок с рабочими поверхностями одинаковой площади позволили рассчитать эффект от комбинированной теплоэлектрической выработки с одной и той же приемной поверхности абсорбера.
- В результате выше приведенных выводов можно утверждать, что предложенные комбинированные системы, при установке на крышах зданий позволяют не только увеличить суммарную выработку энергии, но и значительно сократить занимаемые солнечными установками наземные площади.

Список литературы

1. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки / Харченко Н.В. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.
2. Даффи Дж.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / Дж.А. Даффи, У.А. Бекман. – М.: Мир, 1988. – 413 с.
3. Пат. 2258874 Российская Федерация; МПК⁷ F 24 J 2/24, 2/34. Солнечный коллектор / Страшко В.В., Подлепич В.Ю., Безощенко Д.В., заявитель и патентообладатель В.В. Страшко, В.Ю. Подлепич, Д.В. Безощенко. – № 2003130667/06, заявл. 16.10.03; опубл. 10.04.05, Бюл. № 23.
4. Производство энергоактивной кровли для систем горячего водоснабжения, отопления, вентиляции и кондиционирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.teps.biz.
5. Зайченко В.М., Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Горлов А.А., Жиганов И.Г. Энергетическая утилизация отходов - приоритетное направление создания энергоэффективной экономики в сборнике: экологическая, промышленная и энергетическая безопасность - 2021. сборник статей по

материалам международной научно-практической конференции. Севастополь, 2021. с. 235-239.

6. Зайченко В.М., Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Жиганов И.Г., Стаценко А.К. Новые технологии топливного использования биомассы В сборнике: Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность - 2021. сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. Севастополь, 2021. С. 240-244.
7. Ивантеев И.С., Якимович Б.А., Кувшинов В.В. Внедрение гибридных систем энергоснабжения для морского транспорта и обеспечения портовых сооружений на основе возобновляемых источников энергии В сборнике: Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность - 2021. сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. Севастополь, 2021. С. 272-276.
8. Абдали Л.М., Аль-Руфай Ф.М., Якимович Б.А., Исса Х.А., Кувшинов В.В., Али К.А. Создание полигона для исследований солнечных и ветровых установок на площадке базы отдыха «горизонт» севастопольского государственного университета В сборнике: Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность - 2021. сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. Севастополь, 2021. С. 28-33.
9. Карман М., Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Морозова Н.В., Жиганов И.Г., Крит Б.Л. Комбинированные солнечные установки В сборнике: Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность - 2021. сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. Севастополь, 2021. С. 318-322.

References

1. Kharchenko N. V. Individual solar installations / Kharchenko N. V. – M.: Energoatomizdat, 1991. – 208 p.
2. Duffy J. A. Thermal processes using solar energy / J. A. Duffy, W. A. Beckman. – Moscow: Mir, 1988. – 413 p.
3. Pat. 2258874 Russian Federation; IPC7 F 24 J 2/24, 2/34. Solar collector / Strashko V. V., Podlepich V. Yu., Bezoschenko D. V., applicant and patent holder V. V. Strashko, V. Yu. Podlepich, D. V. Bezoschenko. – No. 2003130667/06, application 16.10.03; publ. 10.04.05, Bul. No. 23.
4. Production of energy-active roofing for hot water supply, heating, ventilation and air conditioning systems [Electronic resource]. – Access mode: www.teps.biz.
5. Zaichenko V.M., Kuvshinov V.V., Kakushina E.G., Gorlov A.A., Zhiganov I.G. Energy waste disposal is a priority direction for creating an energy-efficient economy in the collection: environmental, industrial

- and energy security - 2021. collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference. Sevastopol, 2021. pp. 235-239.
6. Zaichenko V.M., Kuvshinov V.V., Kakushina E.G., Zhiganov I.G., Statsenko A.K. New technologies of biomass fuel use In the collection: Environmental, industrial and energy security - 2021. collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference. Sevastopol, 2021. pp. 240-244.
 7. Ivanteev I.S., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Introduction of hybrid power supply systems for marine transport and provision of port facilities based on renewable energy sources In the collection: Environmental, industrial and energy security - 2021. collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference. Sevastopol, 2021. pp. 272-276.
 8. Abdali L.M., Al-Rufai F.M., Yakimovich B.A., Issa H.A., Kuvshinov V.V., Ali K.A. Creation of a landfill for research of solar and wind installations at the site of the recreation center "horizon" of Sevastopol State University In the collection: Environmental, industrial and energy security - 2021. collection of articles on materials of the international scientific and practical conference. Sevastopol, 2021. pp. 28-33.
 9. Karman M., Kuvshinov V.V., Kakushina E.G., Morozova N.V., Zhiganov I.G., Krit B.L. Combined solar installations In the collection: Environmental, industrial and energy security - 2021. collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference. Sevastopol, 2021. pp. 318-322.

УДК 620.92

Энергообеспечение автономного потребителя энергоэффективными системами на основе возобновляемых видов энергии

В.В.Кувшинов¹, М.Ю.Сперанский², В.А.Березняк³, Ю.А. Майорова⁴,
А.А. Лавренчук⁵

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

¹kuvshinov.vladimir@gmail.com, ²MYSperanskiy@sevsu.ru, ³YAMayorova@sevsu.ru, ⁴btreznak@mail.ru,
⁵AALavrenchuk@sevsu.ru

Статья поступила 11.05.2022 г.; после доработки 13.05.2022 г.

Аннотация

Предложен проект электротеплоснабжения автономного потребителя для Крымского региона, рассчитаны показатели ветровой нагрузки и солнечного излучения, проведены исследования ветровых модулей и батарей фотоэлектрической станции. Показана целесообразность массового использования предложенных ветро-солнечных установок комбинированной генерации для индивидуальных жилых строений.

Ключевые слова: фотоэлектрический модуль, ветроэлектрическая установка, термофотоэлектрический модуль, солнечный коллектор, автономный энергокомплекс, автономная система теплоснабжения, солнечные элементы.

Energy supply of an autonomous consumer with energy-efficient systems based on renewable energy

V.V.Kuvshinov¹, M.Yu.Speranskiy², V.A.Bereznyak³, Yu.A. Mayorov⁴,
A.A. Lavrenchuk⁵

Sevastopol state university, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, ¹kuvshinov.vladimir@gmail.com,
²MYSperanskiy@sevsu.ru, ³YAMayorova@sevsu.ru, ⁴btreznak@mail.ru,
⁵AALavrenchuk@sevsu.ru

Received 11.05.2022 y.; received in final form 13.05.2022 y

Abstract

A project of electric heat supply to an autonomous consumer for the Crimean region has been proposed, wind load and solar radiation indicators have been calculated, studies of wind modules and photovoltaic plant batteries have been conducted. The expediency of mass use of the proposed wind-solar installations of combined generation for individual residential buildings is shown.

Keywords: photovoltaic module, wind power plant, thermal photovoltaic module, solar collector, autonomous power complex, autonomous thermal power supply system, solar cells.

Введение

Для примера расчета автономного энергообеспечения был выбран частный жилой дом на 3-5 человек, находящийся в стадии строитель-

ства, общей площадью 120 м². Дом располагается в Севастополе, в районе бухты Казачьей (садоводческое товарищество «Сатурн»), на участке размером в 6 соток, есть открытое про-

странство вокруг будущего места установки ветрогенератора, и находится на 15 м над уровнем Черного моря. По предварительным расчётам жильцы дома будут потреблять не больше 200-250 кВт электроэнергии ежемесячно. По санитарным нормам количество воды на одного человека в сутки составляет 100 литров. Затраты электроэнергии не очень высокие, т.к. хозяева будут использовать для нагрева воды солнечный коллектор, а ветрогенератор и фотоэлектрический преобразователь необходим только для обеспечения бытовых приборов электроэнергией.

Для расчета приблизительной нагрузки на электрооборудования дома определим основные электробытовые приборы. В доме имеются такие потребители энергии как холодильник -1 шт.(250-350 Вт), телевизор -3 шт. (150-250 Вт), компьютер -1 шт. (350-450 Вт), стиральная машина-1 шт. (1000-1700 Вт), бойлер -1 шт. (1000-2500 Вт), энергосберегающая лампа -10 шт. (25 Вт). Необходимые затраты по горячей воде: 5 человек по 100 литров.

Суммируем значения максимально потребляемой электрической энергии, имеем пиковую нагрузку в 5500 Вт. Хозяева проводят основную часть дня на работе, а пик потребления электроэнергии приходится на утренние и вечерние часы. В этот момент могут быть включены электроприборы суммарной мощностью до ≈ 5 кВт. Объем горячей воды 500 литров/сутки.

К дому подведено электричество с номинальными параметрами сети 220 В. 50 Гц. Данная электрическая система не работоспособна из-за перегрузки сети и выдаваемом напряжении 120 – 160 В. Это аргументируется наличием более 200 потребителей, на что энергосистема не рассчитана. Вот почему возник вопрос об использовании альтернативных источников энергии.

В Севастополе летом преобладают западные и северо-западные ветра, зимой - северо-восточные, скорость ветра достигает 15 м/с самый ветреный месяц-ноябрь. Приблизительно 40 дней в году преобладают сильные ветра и бури, скорость ветра может быть более 15 м/с. Кроме ветров общей циркуляции преобладают местные ветра – бризы на побережье.

Севастополь расположен на широте 45° , является одним из наиболее солнечных городов России, количество солнечных дней равно 98, а годовая суммарная радиация равна 4890 мДж/год кв.м.

Нам необходимо знать энергопотенциал данного места, а именно среднегодовую скорость

ветра (м/с) и количество солнечной энергии (Вт/м.кв.) для места на котором будет расположен энергокомплекс. Есть два варианта замера скорости ветра и солнечной энергии, которые имеют свои недостатки и преимущества.

Первый вариант это среднегодовые показания ближайшей метеослужбы. Их преимущества это быстро получаете среднегодовые показания за длительный период регионе. Необходимо только обратиться в ближайшую метеослужбу, и мы получим все данные. Стоимость услуги сравнительно недорогая или вообще бесплатная. Недостатки это очень усреднённые показания за длительный промежуток времени, обычно месяца. Метеостанции округляют данные за некоторые промежутки времени, что не даёт нам увидеть картину сезонности или изменения скорости ветра, количества ясных дней. Из-за значительной удалённости метеостанций от вашего объекта мы получаем очень необъективные, а зачастую, и достаточно противоречивые показатели скорости ветра и количества солнечной энергии. Значительные расхождения в скорости ветра бывают при сдвиге измерительных приборов на 5-10 метров в сторону, не говоря уже про расстояние в 2-5 километров. Невозможность изменения высоты замера. Все метеослужбы измеряют скорость ветра на высоте 10 метров над поверхностью земли. Даже если нам необходимо знать скорость ветра на высоте 18 метров, то этих данных в метеослужбе мы не получим, поэтому, чем выше находится ветрогенератор, тем больше скорость ветра, соответственно, его выработка. Важную роль играет и угол наклона фотоэлектрических батарей (ФБ) и солнечного коллектора (СК) к солнцу, чем ближе это значение будет к нормали падения лучей, тем больше энергии мы сможем получить.

Второй вариант это замер скорости ветра в будущем месте установки портативной метеостанцией. Его преимущество это очень точные показания в месте установки. При проведении работ по замеру скорости ветра на месте установки, мы можем установить датчики портативной метеостанции на необходимую нам высоту, а также в точном месте, где будет монтироваться ветроустановка. Для объективности показаний можно установить две и более портативных метеостанции в разных местах участка, чтобы определить наиболее ветреное место для монтажа. Недостатки это длительность времени замера и стоимость проведения работ. Для проведения объективных замеров, необходимо устанавливать портативную метеостанцию на дли-

тельный срок – не менее одного месяца. В идеальном варианте, портативная метеостанция должна снимать показания в течение одного календарного года, т.к. во всех регионах существует сезонность ветров (зимой, осенью и весной ветра сильнее). Короткий промежуток времени замера не даст объективной информации. Стоимость работ по замеру скорости ветра портативной метеостанцией в месте установки стоит дороже, чем общие среднестатистические данные от местных государственных метеослужб. Если вы хотите установить портативную метеостанцию на длительный срок или использовать для нескольких объектов, то имеет смысл приобрести данную систему, а не арендовать её.

Для расчетов будем пользоваться данными метеостанции «Херсонесский маяк», расположенной в г. Севастополе, по вероятности скорости ветра по градациям и данными среднемесячной суммарной прямой, рассеянной и общей солнечной радиации на горизонтальную поверхность ($\text{Вт} \cdot \text{ч} / \text{м.кв.}$) за месяц на широте Севастополя.

Первый вопрос, на который мы должны дать ответ и который поможет нам ответить на остальные вопросы это для чего нужен энергетический комплекс, состоящий из ветрогенератора, фотоэлектрической батареи и вакуумного солнечного коллектора и какие задачи он должен выполнять? Ответив на главный вопрос, мы можем без проблем ответить на остальные вопросы и решить, какой набор оборудования вам необходим и сколько это будет стоить. Итак, три основные величины, которые определяют работу всего комплекса.

Первая это выходная мощность ветроустановки и ФБ, которая определяется только мощностью преобразователя (инвертора), и не зависит от скорости ветра, значения солнечной радиации емкости аккумуляторов. Ещё её называют «пиковой нагрузкой». Этот параметр определяет максимальное количество электроприборов, которые могут быть одновременно подключены к вашей системе, а для СК это максимальный разбор воды с необходимой температурой. Вы не сможете одновременно потреблять больше электроэнергии, чем позволяет мощность вашего инвертора, или больше расходовать воду, чем нагрел СК. Если вы потребляете электроэнергию или пользуетесь горячей водой редко, но в больших количествах, то обратите внимание на более мощные инверторы и СК. Для выходной мощности возможно одновременное подключение нескольких инверторов.

Вторая это время непрерывной работы при

отсутствии ветра, при слабом ветре или бессолнечном дне определяется емкостью аккумуляторных батарей ($\text{А} \cdot \text{ч}$ или кВт) и зависит от мощности и длительности потребления. Если потребление электроэнергии происходит редко, но в больших количествах, необходимо обратить внимание на аккумуляторы с большой емкостью.

Третья это скорость заряда аккумуляторных батарей ($\text{кВт} / \text{час}$), которая зависит от мощности самого энергокомплекса. Также этот показатель прямо зависит от скорости ветра, количества солнечных дней, а косвенно от высоты мачты, рельефа местности и угла наклона модуля к горизонту. Чем мощнее ваше энергокомплекс, тем быстрее будут заряжаться аккумуляторные батареи, а это значит, что вы сможете быстрее потреблять электроэнергию из батарей и в больших объемах. Более мощный энергокомплекс следует брать в том случае, если ветра в месте установки слабые, малое количество солнечных дней в году, или вы потребляете электроэнергию постоянно, но в небольших количествах. Для увеличения скорости заряда аккумуляторов возможна установка нескольких генераторов, модулей ФБ одновременно и подключение их к одной аккумуляторной батарее. Это касается и нагрева воды, до необходимой температуры. Для увеличения потребления воды необходимо выбирать более мощный СК, за счет увеличения площади его рабочей поверхности.

Исходя из перечисленных выше факторов, для подбора энергокомплекса и сопровождающего оборудования нам необходимо ответить на следующие вопросы:

Количество электроэнергии и горячей воды, необходимое объекту ежемесячно. Эти данные необходимы для подбора генератора. Их можно взять из коммунальных счетов на оплату электроэнергии или рассчитать самостоятельно, если объект находится в стадии строительства.

Желаемое время автономной работы вашей энергосистемы в безветренные периоды или периоды, когда ваше потребление энергии из аккумуляторов будет превышать скорость зарядки аккумуляторных батарей генератором. Данный параметр определяет количество и емкость аккумуляторов батарей.

Максимальная нагрузка на вашу сеть в пиковые моменты (измеряется в киловаттах). Необходимо для подбора инвертора переменного тока.

Нам необходимо обеспечить 200-250 кВт электроэнергии ежемесячно с пиковыми нагрузками 5 кВт и 100 литров на 1 человека горячей воды в сутки, для чего произведем следующий

расчет. Чтобы понять как быстро должны заряжаться аккумуляторы при расходе электроэнергии 250 кВт в месяц, мы должны разделить 250 кВт/мес. на 30 дней ($250/30 = 8,34$ кВт - среднее ежедневное потребление), а затем полученное число разделить на 24 часа ($8,34/24 = 0,347$ кВт/час – среднее ежечасное потребление). Скорость заряда аккумуляторных батарей генератором должна составить как минимум 347 Ватт в час. В Севастополе низкая среднегодовая скорость ветра, но открытое пространство и возвышение объекта позволит ветрогенератору работать как минимум на 30-40% от номинальной мощности. Для того, чтобы обеспечить заряд аккумуляторных батарей генератором при этих условиях со скоростью 0,347 кВт/час, нужно взять генератор и фотоэлектрический преобразователь, номинальная мощность которого будет как минимум в три раза больше необходимой, т.к. генератор будет работать всего на 30-35% от номинальной мощности ($347 \text{ Вт/ч} \cdot 3 = 1041 \text{ Вт/ч}$). Для этих нужд нам подходит генератор с номинальной мощностью 1 кВт и 3 модуля KV-150/24 с номинальной мощностью 450 Вт. Для расчета объема воды мы количество людей умножаем на ежедневное потребление, получаем ($5 \cdot 100 = 500$ л/сут.).

Автоматический ввод резерва (АВР) позволяет переключить питание объекта при отсутствии ветра и полном разряде аккумуляторов на ветрогенератор, ФБ, СК, (с аккумуляторами) и коммутация с сетью.

Эта же схема может использоваться и наоборот – ветрогенератор и ФЭП, как резервный источник питания. В этом случае АВР переключает вас на аккумуляторные батареи при потере питания от электросети.

Постановка задачи

Для обеспечения энергокомплекса выбираем ветроустановку EuroWind 1. максимальная мощность ветроустановки может достигать 1600 Вт, при скорости ветра 11-12 м/с (рис.1).

Мощностная характеристика ВЭУ приведена на рис.2.

В целях безопасности при увеличении силы ветра генератор поворачивается под углом относительно направления ветра, снижая нагрузку на лопасти и замедляя скорость вращения. В малых ветрогенераторах эта функция реализована с помощью особенностей строения конструкции, а в мощных - с помощью специального поворотного механизма, контролируемого электроникой.



Рис. 1. ВЭУ мощностью 1 кВт, EuroWind 1

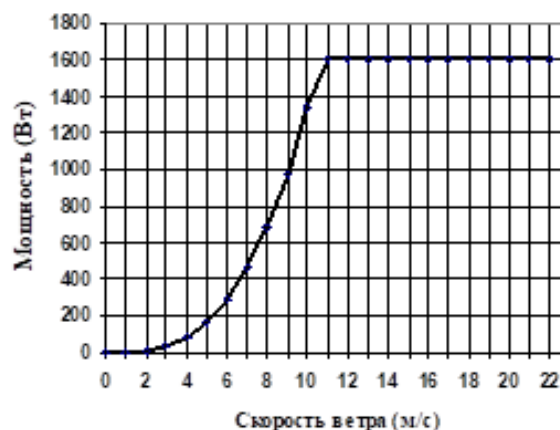


Рис.2. Зависимость мощности ВЭУ от скорости ветра

Основные энергетические характеристики для ВЭУ, при использовании на мысе Херсонес, определяем по данным ближайшей метеостанции для вероятностей скоростей ветра.

Все генераторы практически бесшумные. При низких и средних ветрах они не издают звуков. При сильных ветрах появляется лёгкий шелест, который создаётся при срыве ветра с лопастей генератора.

Уровень шума ветрогенератора в данной таблице включает в себя также сам уровень шума ветра и посторонние фоновые шумы, которые возникали при замерах – шелест деревьев, гул проводов и т.п.

Фотоэлектрические батареи для энергокомплекса

Для дополнительного электрообеспечения жилого дома устанавливаем фотоэлектрическую батарею, состоящую из трёх фотоэлектрических модулей, общей мощностью 450 Вт. В таблице 5 приведены характеристики отдельного модуля.



Рис. 3. Фотоэлектрический модуль KV-150/24M

Используя данные метеослужбы для средне-месячной суммарной солнечной радиации в окрестностях г. Севастополя, можно теоретически рассчитать энерговыработку фотоэлектрического модуля (табл.1).

Таблица 1. Теоретические энергетические характеристики Вт ч с 1 м² фотоэлектрической батареи при установке на горизонтальную поверхность

Энерговыработка (Вт ч/м ²)	Месяцы
4572,5	январь
5219,2	февраль
8760,6	март
13719,0	апрель
16966,3	май
19299,0	июнь
21039,7	июль
17970,7	август
13587,0	сентябрь
9811,5	октябрь
4939,0	ноябрь
3134,1	декабрь
125299,6	За год

При работе в натурных условиях следует учитывать, ориентацию фотоэлектрического модуля, как по азимуту, так и по углу установки от горизонтальной поверхности.

Вакуумный солнечный коллектор для энергокомплекса

Коллектор испытан на давление 1,0 МПа, рабочее давление в системе- 0,6 МПа.

Вакуумные трубы преобразуют солнечную энергию в тепловую, которая передается медным U-образным трубкам с высокой степенью поглощения и незначительными потерями посредством алюминиевого оребрения. Жидкость (вода или антифриз) в U-образной трубе нагревается, и

тепловая энергия передается через медный теплообменник воде в емкости



Рис. 4. Вакуумные солнечные коллектора

Таблица 2. Производительность вакуумного солнечного коллектора

TS-30- 58P TS-30- 58PA			Производительность высокоэффективного вакуумного солнечного коллектора при нагреве воды от 15 до 50°С, угол установки солнечных коллекторов 45° относительно
За сутки	За сутки, кВт ч	Месяц	
117,5	4,79	Январь	
140,2	5,71	Февраль	
207	8,43	Март	
266,7	10,86	Апрель	
290,4	11,83	Май	
326,7	13,31	Июнь	
355,6	14,49	Июль	
331,1	13,49	Август	
295,8	12,05	Сентябрь	
245,7	10,01	Октябрь	
148,6	6,05	Ноябрь	
102,3	4,17	Декабрь	
86198	3511	За год	

* КПД вакуумного солнечного коллектора на 40% выше, чем у плоского коллектора с такой же площадью абсорбера.

** Рабочая площадь поглотителя определяется как площадь проекции цилиндрического абсорбера вакуумной трубки.

Наиболее распространенной системой применяемой сегодня для горячего водоснабжения (ГВС) индивидуальных жилых зданий (коттеджей), является двухконтурная система с принудительной циркуляцией в коллекторном контуре теплоносителя антифриза. Отбор нагретой воды из бака-аккумулятора (БА) производится с верхней точки бака методом вытеснения, то есть путем подачи холодной воды из водопровода (или иного источника) под давлением в нижнюю часть бака. Принципиальная схема такой системы не зависит от ее производительности и места установки.

Обычно такие солнечные системы представляют собой комплект, состоящий из следующих

основных элементов:

- солнечный коллектор;
- система опор для крепления солнечных коллекторов (СК) на крышах (наклонных или плоских) или стенах;
- бак-аккумулятор со встроенными теплообменниками;
- циркуляционный насос с комплектом измерительных приборов и клапанов;
- мембранный бак для компенсации теплового расширения теплоносителя коллекторного контура;
- блок управления работой насоса с датчиками температуры;
- трубопроводы с теплоизоляцией;
- запорно-регулирующая и предохранительная арматура;
- фитинги;
- теплообменники (для использования в комплекте с БА больших объемов).

Размещение всех этих элементов на конкретном объекте для учета его особенностей требует выполнения проектных работ, в процессе которых определяется место и способ крепления СК. Также учитываются размещение БА, насоса, а главное - разводка, трубопроводов и их стыковка с имеющимися магистралями здания.

Следовательно, для каждого объекта проекты размещения элементов солнечной системы будут отличаться в большей или меньшей степени друг от друга при сохранении общей принципиальной схемы.

Коллекторный контур системы является замкнутым и заполняется каким-либо незамерзающим и нетоксичным теплоносителем. Нетоксичность теплоносителя является обязательным требованием, которое дает возможность при создании схемы установки обойтись более простыми техническими решениями и избежать «правила двух стенок», разделяющих токсичный теплоноситель и питьевую воду. Низкие температуры замерзания теплоносителя позволяют не сливать его из СК в зимнее время, что также удешевляет эксплуатацию и повышает коррозионную устойчивость системы.

Результаты исследований

Сравнение с электросетью

Сегодня мы можем пользоваться тремя электрогенерирующими источниками: централизованной энергосетью, бензиново-дизельными установками, ветроагрегатами или другими системами на основе возобновляемых источников: ФЭБ, микро- или мини гидроэлектростанции.

Остановимся подробнее на каждом из них. Централизованная электрическая сеть очень удобна. Хорошо, если она есть. А если ее нет или мощностей комплектной трансформаторной подстанции (КТП) недостаточно для питания резко возросшего количества потребителей, особенно в районах, прилегающих к крупным городам, как в нашем случае.

Сравнение с дизель генератором

Бензиновые или дизельные электростанции являются убыточными с момента их приобретения, а когда начинается их эксплуатация, они становятся сверх-убыточными. У этих источников энергии - очень высокие эксплуатационные расходы, львиную долю которых составляет стоимость бензина или дизельного топлива. Кроме того, они загрязняют окружающую среду выхлопными газами и во время работы создают повышенный шум и вибрации.

Заключение

По результатам проведенных исследований можно сказать следующее:

- В результате проходящей модернизации энергосистем крымского региона и города Севастополя, которая началась при вхождении Крыма в Россию необходимо провести замену большей части электрооборудования и высоковольтных линий. Авторами предлагается использовать эту работу в том числе для создания систем распределенной генерации, в том числе и на основе энергоэффективных автономных энергосберегающих систем для обеспечения автономных потребителей.
- Для оснащения автономных систем теплоснабжения более эффективно использовать установки на основе преобразования энергии ветрового и солнечного потоков в отличие от бензиновых и дизельных генераторов.
- Предложенные ветро-солнечные системы позволяют значительно улучшить экологию крымского курортного региона и позволяет сократить использование органических топлив.

1. Харченко Н. В. Индивидуальные солнечные установки / Харченко Н. В. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.
2. Даффи Дж.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / Дж.А. Даффи, У.А. Бекман. – М: Мир, 1988. – 413 с.
3. Аль-Руфай Ф.М., Кувшинов В.В., Абдали Л.М.,

- Мохаммед Х.Д. Разработка комбинированных автономных систем электроснабжения малой мощности с солнечной энергией для производства электроэнергии в сельских районах В сборнике: Актуальные проблемы электроэнергетики. Сборник научно-технических статей конференции. Нижний Новгород, 2021. С. 318-325.
4. Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Тиман Д.И., Власов Н.А., Гхашим М.В. Разработка энергоэффективных комбинированных термофотovoltaических абсорберов для крыш зданий сборнике: Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность - 2021. сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. Севастополь, 2021. С. 365-368.
5. Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Морозова Н.В., Бордан Д.Ф., Тиман Д.И., Крит Б.Л. Повышение коэффициента преобразования кремниевых солнечных элементов модификацией их приёмной поверхности В сборнике: Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность - 2021. сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. Севастополь, 2021. С. 369-374.
6. Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Нашев Р.А., Статценко А.К., Власов Н.А. Ветро-солнечные электрические установки малой генерации В сборнике: Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность - 2021. сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. Севастополь, 2021. С. 374-377.
- conversion coefficient of silicon solar cells by modifying their receiving surface In the collection: Environmental, industrial and energy security - 2021. collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference. Sevastopol, 2021. pp. 369-374.
7. Kuvshinov V.V., Kakushina E.G., Nashev R.A., Statsenko A.K., Vlasov N.A. Wind-solar electric installations of small generation In the collection: Environmental, industrial and energy security - 2021. collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference. Sevastopol, 2021. pp. 374-377.

References

1. Kharchenko N. V. Individual solar installations / Kharchenko N. V. – M.: Energoatomizdat, 1991. – 208 p.
2. Duffy J. A. Thermal processes using solar energy / J. A. Duffy, W. A. Beckman. – Moscow: Mir, 1988. – 413 p.
3. Al-Rufai F.M., Kuvshinov V.V., Abdali L.M., Mohammed H.D. Development of combined autonomous low-power power supply systems with solar energy for electricity production in rural areas In the collection: Current problems of electric power industry. Collection of scientific and technical articles of the conference. Nizhny Novgorod, 2021. pp. 318-325.
4. Kuvshinov V.V., Kakushina E.G., Timan D.I., Vlasov N.A., Ghashim M.V. Development of energy-efficient combined thermo-photovoltaic absorbers for roofs in the collection: Environmental, industrial and energy security - 2021. collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference. Sevastopol, 2021. pp. 365-368.
5. Kuvshinov V.V., Kakushina E.G., Morozova N.V., Bordan D.F., Timan D.I., Krit B.L. Increasing the

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

УДК 004.056.53

Разработка системы защиты на объекте информатизации от утечки по акустическому каналу

А.О. Антонова-Дружинина², А.О. Шейко¹, Е.Е.Смычков¹, А.Е.Смычков¹¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,

Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, m.i.ozhiganova@sevsu.ru

²ФГАОУ ВО Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)

ул. Большая Садовая, г. Ростов-на-Дону, 344002 Россия

Статья поступила 18.05.2022 г.; после доработки 20.05.2022 г.

Аннотация

Защита информации по акустическому каналу занимает ведущее место в создании комплекса мероприятий по обеспечению информационной безопасности. Ведь в любой организации, либо же предприятии, циркулирует речевая информация, которая в своем контексте может представлять информацию с ограниченным доступом.

В статье приведены рекомендации по защите информации на объекте информатизации от утечек по акустическому каналу связи.

Ключевые слова: объект информатизации, защита информации, канал утечки информации, информация ограниченного доступа, средства защиты информации.

Development of a protection system at an informatization facility against leakage through an acoustic channel

A.O. Antonova-Druzhinina², A.O. Scheiko¹, E.E. Smychkov¹, A. E. Smychkov¹¹Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, m.i.ozhiganova@sevsu.ru²Rostov State Economic University (RINH), st. Bolshaya Sadovaya, Rostov-on-Don, Russia, 344002

Received 30.05.2022y.; received in final form 20.05.2022 y.

Abstract

The protection of information through the acoustic channel occupies a leading place in the creation of a set of measures to ensure information security. After all, in any organization or enterprise, speech information circulates, which in its context can represent information with limited access.

The article provides recommendations for the protection of information at the informatization facility from leaks through an acoustic communication channel.

Keywords: the object of informatization, information protection, information leakage channel, restricted access information, information security tools.

Введение

Тема защиты информации от утечек является ведущей в современном мире, ввиду существования множества способов хищения информации.

Защита информации от утечек по акустическим каналам утечки информации занимает ведущее место в создании комплекса мероприятий по обеспечению информационной безопасности.

Постановка задачи

В данной статье рассмотрены виды акустических каналов утечки информации на объекте и предложены пассивные и активные способы защиты информации от утечек по акустическим каналам.

Анализ объекта информатизации

Объект информатизации представляет собой помещение №408, используемое для переговоров, расположенное на 4 этаже четырехэтажного главного здания на контролируемой территории в северо-восточной части города.

Расстояние от объекта информатизации до границ контролируемой зоны составляет: на севере — 82 м; на северо-западе — 93 м; на западе — 138 м; на юго-западе — 402 м; на юге — 472 м; на юго-востоке — 411 м; на востоке — 213 м; на северо-востоке — 216 м.

Вход и въезд на территорию осуществляется через четыре контрольно-пропускных пункта по специальным пропускам и удостоверениям.

Территория благоустроена, имеет асфальтированное покрытие и зеленые насаждения.

Помещение имеет площадь 17,82 м².

Высота потолков составляет 3,8 м, ширина — 3,3 м, длина — 5,4 м.

Пол покрыт дубовым паркетом (толщиной 10 мм), который вскрыт защитным слоем.

Внешняя, несущая стена, выполнена из блоков инкерманского камня толщиной 0,8 м. Стены помещения, выполнены из гипсовых блоков и известняка. Толщина внутренних стен 0,2 м.

Помещение имеет один оконный проем, размером 2,3 м × 1,2 м, выходящих на восток. Окна оборудованы деревянными окнами, с открывающейся створкой. Окна оборудованы шторами. Под окнами с внешней стороны ничего не расположено.

Подоконник — деревянный, размером 1,2 × 0,35 м, толщина — 0,1 м высота от пола составляет 1 м.

Доступ в кабинет осуществляется непосредственно через коридорное помещение. На западной стене расположен дверной проем размером 2,3 м × 0,9 м. Дверь стальная, шумоизоляционная. Глазок и дверные решетки отсутствуют, открывается внутрь. В наличии врезной механический замок.

Электроснабжение осуществляется от городской сети через трансформаторную подстанцию, находящейся за пределами контролируемой территории, и через распределительный щит.

В объекте информатизации расположены 6 розеток (расположенные по 3 шт. на западной и северной стене), 2 лампы дневного света, 1 выключатель (расположенный на восточной стене).

Система водяного отопления представлена в виде одного чугунного радиатора (8 секций), который размещен на восточной стене под оконным проемом. Стояк водяного отопления проходит с чердака здания через объект информатизации в смежное помещение № 406 и на третий этаж в помещение № 308.

Система речевого оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре представлена оконечными устройствами: громкоговоритель типа 3/1AC100ПН-А — соединительная коробка — сигнальное устройство, с выходом на центральный пост охраны, расположенный на 2 этаже в центральной части здания.

К основным техническим средствам и системам установленных на ОИ относятся: моноблок Lenovo ThinkCentre M910z All-in-One Desktop Review, ноутбук HP Laptop 15-BS0XX, МФУ Ecosys FS-1120MFP.

К вспомогательным техническим средствам и системам установленных на ОИ относятся: IP-телефон Yealink SIP-T40P, маршрутизатор ASUS RT-N14U.

Описание информации, циркулирующей на объекте информатизации

На данном объекте информатизации циркулирует информация ограниченного доступа.

Информация ограниченного доступа, не содержащая сведений, составляющих государственную тайну (конфиденциальная информация) — это информация, доступ к которой ограничен федеральными законами [1].

В помещении информация ограниченного доступа обрабатывается на бумажных носителях, для обработки информации ограниченного доступа на магнитных, электронных и оптических носителях используется автоматизированные системы. Также циркулирует речевая информация ограниченного доступа.

В смежных помещениях информация ограниченного доступа не циркулирует. Неконтролируемое проникновение и пребывание посторонних лиц маловероятно.

Анализ акустических каналов утечки информации

Прямой акустический канал

Одним из самых простых в плане перехвата

информации можно считать именно прямой акустический канал, так как основным методом хищения информации тут выступает подслушивание.

Перехват акустической (речевой) информации из объекта информатизации по данному каналу утечки информации может осуществляться с использованием:

- портативных устройств звукозаписи (диктофоны) скрыто установленных на (установка таких устройств простая, но куда проблематичнее снять записанную информацию с устройства, так как для её снятия необходимо повторно попасть на объекте информатизации, чтобы забрать устройство, так же проблема в процессе установки таких устройств заключается в том, что неконтролируемое пребывание на объекте информатизации практически невозможно);
- электронных устройств перехвата информации (закладные устройства с датчиками микрофонного типа) скрыто установленных на объекте информатизации (передача информации таких устройств осуществляется при помощи радиоканалу, оптическому каналу, электросети 220 В, телефонной линии, соединительным линиям вспомогательным техническим средствам и системам и специально проложенным кабелям, но установка таких закладных устройств маловероятна, так как на объекте информатизации не имеется неконтролируемого доступа посторонних лиц);
- при помощи использованием направленных микрофонов, размещенных в близлежащих строениях и транспортных средствах, находящихся, как в пределах контролируемой зоны, так и за ее границей (установка микрофона направленного действия является сложной задачей, так как требуется проникновение на контролируемую территорию для установки устройства, установка данных устройств за пределами контролируемой зоны менее целесообразна, так как расстояние от объекта информатизации до границ контролируемой довольно большое (максимальная дальность действия направленных микрофонов в условиях города не превышает 100 — 150 м, за городом при низком уровне шумов дальность разведки может составлять до 500 м и более), и качество разборчивости информации, снятой с такого устройства будет значительно хуже);
- без применения технических средств (из-за

недостаточной звукоизоляции ограждающих конструкций) посторонними лицами (посетителями, техническим персоналом) при их нахождении в коридорах и смежных помещениях (не-преднамеренное прослушивание), непосредственное подслушивание, (как преднамеренное, так и непреднамеренное) разговоров из смежных помещений с объекта информатизации и коридора является вероятным каналом утечки информации, так как на объекте информатизации низкая звукоизоляция стен.

Таким образом, акустический канал утечки информации вероятен и может быть реализован путем непосредственного прослушивания как в пределах контролируемой зоны, так и за её пределами.

Виброакустический канал утечки информации.

В виброакустическом канале утечки информации средой распространения сигнала являются ограждающие строительные конструкции помещения (стены, потолок, полы) и инженерные системы помещений (трубопроводы (и жидкость в них) водоснабжения, отопления, корпуса коробов вентиляции).

Воздействие акустических волн на поверхность твердого тела приводит к возникновению в нем вибрационных колебаний в результате виброакустического преобразования. Эти колебания, распространяющиеся в твердой среде, могут быть перехвачены специальными средствами разведки, а речевая информация, содержащаяся в акустическом поле, при определенных условиях может быть восстановлена.

С этой целью используют устройства, преобразующие вибрационные колебания в электрические сигналы, соответствующие определенным звуковым частотам. Такие устройства называются вибродатчиками.

В целях ведения разведки с использованием виброакустического канала широко применяются стетоскопы — устройства, содержащие вибродатчик (стетоскопный микрофон), блок обработки сигнала, осуществляющий его усиление и ослабление помех, и головные телефоны.

Электронные стетоскопы и закладные устройства с датчиками контактного типа позволяют перехватывать речевую информацию без физического доступа на объекте информатизации.

Снятие информации с помощью электронных стетоскопов внешними нарушителями — маловероятно, так как требуется проникновение

в смежные с объектом информатизации помещениями, а для этого необходимо попасть на контролируемую территорию, но если злоумышленник внутренний (уборщица или другой сотрудник), то установка таких устройств возможна. Таким образом, данный канал утечки информации вероятен и может быть осуществлен при помощи внутреннего нарушителя.

Акустооптический канал утечки информации.

В акустооптических каналах утечки информации перехват речевой информации осуществляется при помощи лазерных средств акустической разведки. В качестве объектов, через которые можно получить информацию в данном канале выступают оконные стекла и другие виброотражающие поверхности, при помощи дистанционно лазерно-локального зондирования объекта.

К лазерным средствам акустической разведки высокие требования, ведь такие устройства должны обладать высокой помехоустойчивостью, поскольку качество перехватываемой речевой информации зависит от наличия и уровня акустического шума, помеховых вибраций, ослабления лазерного излучения в атмосферном давлении и фоновой оптической засветки при приёме отраженного от объекта сигнала.

Снятие информации с помощью лазерных средств акустической разведки в контролируемой зоне является трудноосуществимой задачей, так как объекте информатизации находится на 4 этаже и использование лазерных средств акустической разведки преграждает лесопарковое насаждение перед окном объекте информатизации. За пределами контролируемой зоны, в связи с особенностями рельефа, наличием лесопарковой зоны с высокими деревьями использование лазерных средств акустической разведки неэффективно.

Таким образом, акустооптический канал утечки информации является маловероятным.

Акустоэлектрический канал утечки информации.

Акустоэлектрические каналы утечки информации являются следствием преобразования акустического сигнала в электрический, при помощи «микрофонного эффекта» в электрических элементах вспомогательных технических средств и систем.

Некоторые элементы вспомогательных технических средств и систем, в том числе трансформаторы, катушки индуктивности, звонков телефонных аппаратов и т.п., обладают свойством

изменять свои параметры (емкость, индуктивность, сопротивление) под действием акустического поля, создаваемого источником речевого сигнала. Изменение параметров приводит либо к появлению на данных элементах электродвижущей силы, либо к модуляции токов, протекающих по этим элементам в соответствии с изменениями воздействующего акустического поля [4].

Исходя из устройств вспомогательных технических средств, функционирующих на объекте информатизации, реализация акустоэлектрического канала возможна.

Таким образом, данный канал утечки информации вероятен.

Рекомендации по защите от утечек по акустическим каналам

Техническое мероприятие по защите информации— мероприятие по защите информации, предусматривающее применение технических средств и способов защиты, а также реализацию технических решений.

Методы защиты информации в акустических каналах утечки информации можно разделить на два вида: пассивные и активные.

Пассивные методы направлены на ослабление непосредственных акустических сигналов, циркулирующих в помещении, а также продуктов электроакустических преобразований в основных технических средствах и системах, вспомогательных технических средствах и системах соединяющих цепях. Основным методом защиты при пассивном методе является звукоизоляция, ведь звукоизоляция локализует источник излучения в замкнутом пространстве с целью снижения отношения сигнал/шум либо полностью исключаяющего, либо значительно затрудняющего съем акустической информации. Основной целью применения пассивных средств защиты является возможность снизить соотношение сигнал/шум в возможных точках перехвата информации посредством снижения информационного сигнала [2].

Если же возникают случаи, когда пассивные меры не могут обеспечить необходимый уровень защиты, применяются активные методы.

Активные методы предусматривают создание маскирующих помех и подавление/уничтожение технических средств акустической разведки.

Для защиты помещений применяют генераторы шума и системы вибрационного зашумления, которые формируют шумовые, «речеподобные» и комбинированные помехи. К основным и

часто используемых средствам относят генераторы шумов — технические средства, вырабатывающие шумоподобные электронные сигналы. Суть работы данных средств заключается в том, что сигналы попадают на соответствующие датчики акустического либо вибрационного преобразования. Акустические датчики предназначены для создания акустического шума в помещениях или вне их, а вибрационные — для маскирующего шума в ограждающих конструкциях [2].

Пассивные методы защиты информации.

В качестве пассивных средств защиты информации предлагается установить:

Облицовка стен

Чтобы увеличить звукоизоляцию стен применяют метод облицовки. Крепление каркасов к основанию производится с помощью стандартных металлических регулируемых подвесов. Этот метод достаточно прост и эффективен, но имеет очень серьезный недостаток — это наличие жестких связей между защищаемой стеной и несущим металлическим каркасом облицовки из гипсокартонного листа. Даже с учетом применения различного рода прокладок, шум передается по элементам крепления каркаса на облицовки из гипсокартонного листа и далее переизлучается в защищаемое помещение.

Применяются специальные звукоизолирующие крепления, которые должны удовлетворять требованиям: соединения строительных конструкций должны быть прочными и одновременно эластичными (нежесткими), должны обладать звукоизолирующими свойствами в широком диапазоне частот, для чего резонансная частота акустических креплений должна быть более низкой (7 — 15 Гц).

Уровень звукоизоляции зависит от толщины стены. К стене пристраивают деревянные каркасы, которые потом облицовываются гипсокартоном. А между стеной и гипсокартонном кладут прокладку (поролон, минеральная вата). Благодаря структуре рассредоточенных волокон с открытыми воздушными пустотами наблюдается хорошее звукопоглощение и сведение к минимуму акустических колебаний, вызываемых источником звука.

Плавающий пол

Плавающий пол представляет собой массивную стяжку из бетона или цементно-песчаной смеси, уложенную на межэтажное перекрытие поверх слоя упругого материала. Стяжка плавающего пола не должна иметь никаких жестких связей с ограждающими конструкциями, поэтому её отделяют от боковых поверхностей

стен и перегородок упругими прокладками. В качестве материала изоляционного слоя применяются плиты из акустической минеральной ваты на базальтовой или стекловолоконистой основе или различные вспененные полимерные рулонные материалы.

На плиту перекрытия укладывается слой упругого изоляционного материала толщиной 3 — 20 мм, поверх которого устраивается массивная выравнивающая стяжка.

Стяжка представляет собой армированную плиту из бетона, гипса, цементно-песчаной смеси или других подобных материалов толщиной 50 — 80 мм.

При этом стяжка должна быть отделена от стен упругими прокладками толщиной 4 — 10 мм по всему периметру изолируемого помещения для того, чтобы исключить образование «звуковых мостиков», наличие которых приводит к существенному снижению эффекта звукоизоляции.

Опорные звукоизолирующие крепления предназначены для монтажа эффективных звукоизоляционных плавающих полов. Эти крепления монтируются на поверхность бетонного пола или на балки деревянного межэтажного перекрытия. Затем в них укладываются и фиксируются деревянные лаги, к которым закрепляется настил из древесно-стружечной плиты.

Акустическую эффективность креплений обеспечивает применение в качестве упругого элемента уникального виброизоляционного материала.

Крепление звукоизолирующих профилей к ограждающим конструкциям производится через штатные узлы крепления с помощью дюбелей или анкеров.

Подвесной потолок

Для повышения общего уровня звукоизоляции рекомендуется установить подвесной потолок, который бы крепился к перекрытию с помощью звукоизолирующих подвесов.

В качестве звукопоглощающего материала для таких потолков используются спрессованные плиты из супертонкого стекловолокна или тонкого минераловолокна.

Тамбурные двери

Для повышения звукоизоляции проводится облицовка внутренних поверхностей тамбура звукопоглощающими покрытиями, а двери обиваются материалами со слоями ваты и войлока и используются дополнительные уплотнительные прокладки.

Такие дверные проемы позволяют получить

звукопоглощение не менее 60 — 70 дБ, что удовлетворяет самым высоким требованиям защищенности.

Стальная тамбурная дверь — средство обеспечения безопасности объекта информатизации. Она создает барьер, который препятствует проникновению посторонних лиц в помещение. Чтобы тамбурные двери выдержали двойную нагрузку они изготавливаются из высококачественной стали и имеют минимальную отделку и комплектацию. Глубина тамбура должна быть не менее 1,2 м и превышать ширину дверного полотна не менее, чем на 0,2 м. Ширина тамбура должна быть не менее суммы ширины дверных проемов в тамбуре и простенков между ними плюс 0,15 м с каждой стороны крайних дверных проемов.

Стеклопакет

Стеклопакет — светопрозрачная конструкция строительного назначения из двух и более стёкол, скреплённых (склеенных) между собой в порядке: стекло — воздушная камера (газ) — стекло.

Сплит-система

Для защиты объекта информатизации от утечки информации по виброакустическому каналу из помещения объекта информатизации устанавливаются радиаторы и устанавливаются сплит-система для поддержания необходимых показателей микроклимата в помещении.

Также возможна установка пластиковых вставок в металлические трубы, проходящие транзитом через объект информатизации.

Активные методы защиты.

На основе анализа акустических каналов утечки информации на объекте информатизации были определены основные каналы утечки информации: акустический, виброакустический, акустоэлектрический[3].

Для защиты от данных каналов утечки отлично подходит система активной защиты речевой информации от ее утечки по акустическому, вибрационному и акустоэлектрическому каналам в выделенных помещениях и слаботочных линиях SEL-155 «Сонет».

Система SEL-155 «Сонет» предназначена для защиты речевой информации, циркулирующей в выделенных помещениях, от её утечки путём создания маскирующих акустических помех в смежных воздушных пространствах и маскирующих вибрационных помех в ограждающих конструкциях и инженерно-технических коммуникациях. Также она предназначена для защиты телефонных линий, линий компьютерных сетей, соединительных линий систем оповещения и

сигнализации от утечки по каналу акустоэлектрических преобразований (микрофонного эффекта) путём их гальванического размыкания на выходе из защищаемого помещения.

Система активной защиты «Сонет» является многокомпонентным средством защиты, состоящим из различных устройств (модулей), которые в зависимости от предназначения, могут объединяться или применяться отдельно как самостоятельные технические средства защиты информации.

Минимальная комплектация системы «Сонет» может состоять из индивидуального блока питания БПК-155И и подключённого к нему по двухпроводной шине питания одного генератора-излучателя сигнала или гальванического размыкателя линий.

Системный блок питания БПК-155С позволяет подключить к нему максимально до 55 устройств генератора-излучателя сигнала или гальванического размыкателя линий одновременно в любом сочетании и управлять ими удалённо с автоматического рабочего места оператора.

Программатор ПРГ-155 применяется только во время настройки и регулировки при установке генераторов-излучателей в защищаемое помещение.

Эта система удовлетворяет всем запросам в защите от каналов утечки информации на объекте информатизации и находится в перечне государственного реестра сертифицированных средств защиты информации. Система имеет сертификат соответствия № 4031, срок действия которого до 06.11.2023 года.

Заключение

Защита информации от утечек по акустическим каналам утечки информации довольно важна в построении комплекса мероприятий по защите информации. На данном объекте информатизации используются активные и пассивные средства защиты информации. К пассивным средствам, установленным на объекте информатизации можно отнести облицовку стен, установку плавающего пола, подвесного потолка, тамбурной двери, стеклопакета и сплит-системы. В качестве активных средств защиты на объекте информатизации рекомендуется установить систему активной защиты речевой информации от ее утечки по акустическому, вибрационному и акустоэлектрическому каналам в выделенных помещениях и слаботочных линиях SEL-155 «Сонет», обеспечивающую защиту информации

от акустических каналов утечки информации
присущих данному объекту информатизации.

Список литературы

1. Российская Федерация. Законы. Об информации, информационных технологиях и о защите информации: федеральный закон от 27.07.2006 № 149 — ФЗ: [принят Гос. Думой 8 июля 2006 г. : одобрен Советом Федерации 14 июля 2006 г.]. — // СПС Консультант Плюс. — с изм. и допол. в ред. от 09.03.2021.
2. Защита акустической (речевой) информации: [Электронный ресурс]. URL: <https://intuit.ru> (Дата обращения: 25.05.2022).
3. Калита А.О., Ожиганова М.И. Разработка системы блокирования акустических каналов утечки информации с адаптивным управлением // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2019. № 1 (236). С. 131-136.
4. Миронова А.О., Гончаренко Ю.Ю., Гоголь А.С., Фролова А.Н. Применение методики оценки угроз безопасности информации // Энергетические установки и технологии. 2021. Т. 7. № 4. С. 71-75.

References

1. The Russian Federation. Laws. On Information, Information technologies and Information Protection: Federal Law No. 149 - FZ of 27.07.2006: [adopted by the State Duma on July 8, 2006 : approved. By the Federation Council on July 14, 2006]. — // SPS Consultant Plus. — with changes and additions. in ed. from 09.03.2021.
2. 2. Protection of acoustic (speech) information: [Electronic resource]. URL: <https://intuit.ru> (date of access: 05/25/2022).
3. Kalita A.O., Ozhiganova M.I. Development of a system for blocking acoustic channels of information leakage with adaptive control // Bulletin of the Adygea State University. Series 4: Natural-mathematical and technical sciences. 2019. No. 1 (236). pp. 131-136.
4. Mironova A.O., Goncharenko Yu.Yu., Gogol A.S., Frolova A.N. Application of information security threat assessment methodology // Energy installations and technologies. 2021. Vol. 7. No. 4. pp. 71-75.

УДК 004.045

Качественная оценка методик разработки автоматизированных средств

Ю.Ю. Гончаренко¹, Г.С. Погуляй¹, В.В. Пелись¹, М.Г. Щербаченко¹¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,

Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия

²ГБОУ города Севастополя СОШ № 31"

Статья поступила 13.05.2022 г.; после доработки 16.05.2022 г.

Аннотация

Проведен анализ известных методик и инструментов, применяемых для разработки автоматизированных средств обеспечения целостности данных, в результате которого определено, что для создания автоматизированного средства подтверждения подлинности электронных документов наиболее оптимальной является методика, построенная на основе «Каскадной модели с промежуточным контролем» с использованием интерпретируемого языка программирования Python, относящегося к объектно-ориентированной парадигме программирования.

Ключевые слова: программное обеспечение; методика разработки; языки программирования; жизненный цикл программ; парадигмы программирования.

Definition of the methodology for developing an automated tool

Y.Y Goncharenko¹, G.S. Pogulyay¹, V.V. Pelis¹, M.G. Shcherbachenko¹²Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, k.b.matuzaev@sevsu.ru

Received 13.05.2022 y.; received in final form 16.05.2022 y.

Abstract

The analysis of known methods and tools used to develop automated means of ensuring data integrity was carried out, as a result of which it was determined that the most optimal method for creating an automated means of verifying the authenticity of electronic documents is based on the "Cascade Model with Intermediate Control" using an interpreted programming language. Python, related to the object-oriented programming paradigm.

Keywords: software; development methodology; programming languages; life cycle of programs; programming paradigms.

Введение

Ежедневно во всём мире происходит колоссальный объем документооборота, что даёт злоумышленникам большой спектр возможностей для воздействия на кого-либо, начиная от обычного человека и заканчивая государственными предприятиями. Создание автоматизированного средства подтверждения подлинности электронных документов обуславливается необходимостью обеспечения целостности данных внутри документов как одного из способов защиты документооборота от негативного воздействия со стороны злоумышленников. Такой подход к за-

щите информации не позволит видоизменять передаваемую информацию, которая в конечном виде будет полностью соответствовать данным, предоставленным отправителем в изначальном виде.

В качестве объекта исследования выступают методики ведения разработки программного обеспечения. Для определения оптимальной методики разработки автоматизированного средства подтверждения подлинности электронных документов будут рассмотрены такие инструменты, как жизненные циклы программного обеспечения, парадигмы программирования,

языки программирования.

Актуальность данной темы обусловлена необходимостью проведения превентивных мер противодействия злоумышленникам путем усовершенствования любых систем или средств защиты информации, при этом качественные модификации могут происходить лишь после успешных исследований и испытаний методик разработки автоматизированных средств по обеспечению целостности данных.

Постановка задачи

Целью данной работы является исследование методик разработки автоматизированных средств обеспечения целостности данных для создания оптимального автоматизированного средства подтверждения подлинности электронных документов.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) рассмотреть жизненные циклы программного обеспечения;
- 2) изучить парадигмы программирования;
- 3) рассмотреть языки программирования;
- 4) определить наилучшее сочетание инструментов для создания оптимальной методики автоматизированного средства подтверждения подлинности электронных документов.

Основная часть

Одним из важных инструментов разработки автоматизированного средства является жизненный цикл программного обеспечения — ряд событий, которые происходят с программой в процессе ее создания и дальнейшей эксплуатации [1, 14], другими словами, это промежуток времени, который измеряется с момента начала создания программного обеспечения и до окончания его внедрения.

В силу того, что все создаваемые продукты различны по своему смыслу, направлению и стеку технологий, возникает необходимость разработки соответствующих моделей жизненного цикла программного обеспечения и в дальнейшем строго следовать им.

Сама по себе модель жизненного цикла программного обеспечения представляет собой структуру, содержащую процессы, действия и задачи, которые осуществляются в ходе реализации программного продукта. Все модели можно условно разделить на 3 основные группы, а именно: инженерный подход, подход с учётом специфики задачи, современные технологии быстрой разработки. Каждая из перечисленных

групп имеет свои преимущества и недостатки, знание которых позволяет выбрать наиболее оптимальный жизненный цикл программного обеспечения.

Каждая из групп объединяет множество моделей, поэтому необходимо определить конкретную из них, которая больше всего подойдёт для создания выбранного продукта.

Рассмотрим пять моделей, каждая из которых отвечает за свою область использования и относится к одной из групп.

Первая модель «Кодирование и устранение ошибок» зачастую используется при обучении, например, студентами для реализации определенных лабораторных работ или практических заданий. Алгоритм, присущий этой модели, составляет всего 4 действия, а именно:

- 1) определение задач;
- 2) их исполнение;
- 3) проверка результата;
- 4) в случае необходимости вернуться к первому пункту.

Эта модель очень проста и позволяет быстро и просто выполнить любую поставленную задачу в целях обучения, но в промышленном производстве ее не используют в связи с большим количеством недостатков. Простота алгоритма и эксплуатации модели позволяет отнести её к первой группе моделей.

Следующая модель называется «Каскадная», она также имеет простую структуру алгоритма действий, что позволяет её также отнести к первой группе моделей.

Текущий алгоритм имеет ряд преимуществ по отношению к предыдущей модели, а именно:

- последовательное выполнение этапов проекта в строгом фиксированном порядке;
- позволяет оценивать качество продукта на каждом этапе.

Однако имеется и ряд весомых недостатков:

- отсутствие обратных связей между этапами;
- не может использоваться в промышленных масштабах.

У данной модели есть модифицированная версия под названием «Каскадная модель с промежуточным контролем», которая отличается одним преимуществом — наличие обратной связи с каждым этапом жизненного цикла, и одним недостатком — многократное увеличение затрат на разработку такого программного продукта за счёт увеличения проходимых итераций. Такое равновесие позволяет модифицированную версию модели жизненного цикла программного обеспечения отнести к первой группе моделей.

Третья модель «V модель» или «Разработка

через тестирование» обладает алгоритмом действий, который приближен к современным методам разработки программного продукта, к ее преимуществам можно отнести:

- планирование на ранних стадиях разработки системы ее тестирования;
- обеспечение аттестации и верификации всех промежуточных результатов разработки;
- упрощение (по сравнению с каскадной моделью) отслеживания хода процесса разработки, возможность более реального использования графика проекта;
- простота в использовании.
Есть и недостатки:
- дороговизна оценки рисков, так как оценка рисков после прохождения каждой спирали связана с большими затратами;
- усложненная структура жизненного цикла;
- бесконечность спирали из-за того, что каждая ответная реакция заказчика на созданную версию может порождать новый цикл, что затягивает завершение работы над проектом.

Четвёртая модель «Прототипирование» основывается на разработке прототипов и прототипировании продукта на ранних стадиях жизненного цикла программного обеспечения и служит для выполнения таких задач, как четкое определение требований, которые не полностью описаны (например, прототип графического интерфейса), выбор одного из ряда концептуальных решений (реализация сценариев) или анализ осуществимости проекта. Такая модель позволяет быстро выдавать результат и имеет простой алгоритм из 4 действий:

- 1) определение основных требований;
- 2) разработка исходного прототипа;
- 3) обзор;
- 4) доработка и улучшение прототипа.

Но, несмотря на простоту алгоритма, у этой модели больше недостатков, чем преимуществ, поэтому она подходит лишь в единичных случаях, ведь прототип не может являться готовым программным продуктом.

Среди преимуществ выделяется:

- сокращение времени и затрат;
- улучшение и увеличение вовлеченности пользователей.

К недостаткам относится:

- недостаточный анализ;
- пользователь путает прототип и готовый программный продукт;
- разработчики могут предполагать, что поль-

зователи разделяют их цели, не понимая более широких коммерческих проблем;

- привязанность разработчика к прототипу;
- чрезмерное время разработки прототипа;
- затраты на внедрение прототипирования.

Пятая рассматриваемая модель — «Спиральная», представляет собой процесс разработки программного обеспечения, который сочетает в себе как проектирование, так и поэтапное прототипирование с целью сочетания преимуществ восходящей и нисходящей концепций. По своей сущности такая модель представляет собой гибрид каскадной модели и модели прототипирования. Как видно из алгоритма действий, модель имеет четыре главных повторяющихся стадии, а именно:

- 1) определение задач, альтернатив, ограниченный;
- 2) оценка альтернатив, выделение рисков и способов борьбы с ними;
- 3) разработка и верификация очередной части продукта;
- 4) планирование следующих итераций.

Вся работа начинается с первой стадии. Команда разработчиков формулирует цели, основные требования, возможные дизайны и др. В дальнейшем требования корректируются и закрепляются согласно обратной связи, полученной от заказчиков, что показывает необходимость постоянной коммуникации между разработчиками и заказчиками.

Следующий этап является одной из самых важных стадий разработки. В данном контексте риски представляют собой возможные события и состояния проекта, препятствующие достижению командой разработчиков поставленных целей. Существует довольно обширный диапазон потенциальных рисков: от тривиальных и легко преодолимых до крайне серьёзных. Главной задачей для команды разработчиков является выявление всех возможных рисков и присвоение им определенного уровня приоритета на основе их значимости.

Следующий шаг — разработка возможных стратегий преодоления выявленных рисков. В итоге этих действий возможны изменения в последующих стадиях разработки. В качестве результата по факту прохождения стадии является созданный прототип.

Третья стадия заключается в разработке и верификации очередной части продукта с последующим его тестированием. В момент прохождения первой итерации, когда общие требования ещё не сформулированы или сформулированы

не чётко, разрабатывается так называемая концепция будущего продукта, которая необходима для получения отзыва от заказчика. На последующих витках спирали рабочие версии продукта отправляются заказчику, что позволяет получить более детальный отзыв и четче сформулировать требования.

На последней стадии модели вся полученная информация используется для планирования дальнейших этапов разработки [2, 13].

Таким образом, анализ рассмотренных базовых моделей жизненных циклов программного обеспечения показал, что наиболее подходящей моделью для разработки автоматизированного средства подтверждения подлинности электронных документов является «Каскадная модель с промежуточным контролем».

Следующим этапом исследования методик разработки автоматизированных средств обеспечения целостности данных является изучение парадигмы программирования — совокупности идей и понятий, определяющих стиль написания программного обеспечения или же подход к программированию, способ концептуализации, который определяет организацию вычислений и структурирование работы, выполняемой компьютером.

Парадигма программирования не является методом определения языка программирования, так как практически все современные языки программирования могут использовать различные парадигмы, что определяет мультипарадигменное программирование.

Для поиска наилучшей парадигмы программирования для реализации автоматизированного средства подтверждения подлинности электронных документов необходимо рассмотреть более подробно основные модели программирования [3], а именно: императивное, декларативное, функциональное, объектно-ориентированное программирование.

Императивное программирование представляет собой написание приказов, выражаемых повелительным наклонением в естественных языках, то есть это последовательность команд, выполняемых процессором. Одной из характерных черт императивного программирования является широкое использование операций присваивания. Наличие такой черты создаёт увеличение сложности модели вычислений и делает императивные программы подверженными специфическим ошибкам.

Также к основным чертам императивных языков относится использование именованных

переменных, составных выражений, подпрограмм и другое.

К характеристикам императивного программирования относятся:

- в исходном коде программы записываются инструкции;
- инструкции должны выполняться последовательно;
- данные, получаемые при выполнении предыдущих инструкций, могут читаться из памяти последующими инструкциями;
- данные, полученные при выполнении инструкции, могут записываться в память [4].

Декларативное программирование представляет собой противоположность императивной парадигме программирования. За основу такой парадигмы берётся определение спецификации решения задачи и описание ожидаемого результата, а не способ его получения. В качестве примеров декларативного программирования можно привести языки HTML и SQL.

У такого подхода не используются понятия состояния, не содержатся переменные и операторы присваивания, но ему присуще написание исполнимых спецификаций. В таком случае программа представляет собой формальную теорию, а её выполнение является одновременно автоматическим доказательством этой теории [5].

Функциональное программирование представляет собой парадигму программирования, в которой процесс вычисления трактуется как вычисление значений функций в математическом понимании последних. Такая парадигма противопоставляется императивному программированию, которая описывает процесс вычисления как последовательное изменение состояний. В случае необходимости в функциональном программировании вся совокупность последовательных состояний вычислительного процесса представляется явным образом, например, как список.

Функциональное программирование обладает концепциями, которые могут также пересекаться с иными парадигмами программирования, однако все они чужды императивному программированию.

К концепциям функционального программирования относятся:

- функции высших порядков — это такие функции, которые могут принимать в качестве аргументов и возвращать другие функции;
- чистые функции — функции, которые не имеют побочных эффектов ввода-вывода и

памяти (они зависят только от своих параметров и возвращают только свой результат);

- рекурсия, представляющая собой способ реализации циклов.

К сильным сторонам функциональной парадигмы программирования относятся [6]:

- повышение надёжности кода, обусловленное чёткой структуризацией и отсутствием необходимости отслеживания побочных эффектов;
- удобство организации модульного тестирования;
- возможность оптимизации при компиляции;
- возможность параллелизма.

Объектно-ориентированное программирование — парадигма программирования, которая основывается на представлении программы в виде совокупности взаимодействующих объектов, каждый из которых представляет собой экземпляр определённого класса, когда классы в свою очередь образуют иерархию наследования.

Идеологически объектно-ориентированное программирование образует подход к программированию как к моделированию информационных объектов, решающий на новом уровне основную задачу структурного программирования, а именно структурирование информации с точки зрения управляемости, что существенно улучшает управляемость самим процессом моделирования, что, в свою очередь, особенно важно при реализации крупных проектов.

Основные принципы структурирования в случае объектно-ориентированного программирования связаны с различными аспектами базового понимания предметной задачи, которая требуется для оптимального управления соответствующей моделью.

К принципам объектно-ориентированного программирования относятся абстракция, инкапсуляция, наследование и полиморфизм.

Таким образом, из всех рассмотренных выше парадигм программирования для разработки автоматизированного средства подтверждения подлинности электронных документов оптимальной является объектно-ориентированная парадигма. Такой выбор обусловлен возможностями и принципами программирования, предполагающими этой парадигмой.

В качестве главного инструмента для достижения цели выступает язык программирования, который будет использоваться при реализации программного обеспечения. Существует множество языков программирования, где каждый из

них по-своему уникален и обладает своими преимуществами и недостатками. Однако будут рассмотрены лишь те языки программирования, которые соответствуют выбранной парадигме программирования, а именно объектно-ориентированной парадигме.

Известно, что все языки, относящиеся к объектно-ориентированной парадигме программирования, по методам исполнения программного кода можно разделить на две группы: компилируемые и интерпретируемые языки программирования.

Компилируемый язык программирования — язык программирования, исходный код которого, преобразуется компилятором в машинный код и записывается в файл с особым заголовком или расширением для последующей его идентификации как исполняемого операционной системой: C#, C++, Delphi, Fortran, Pascal, Visual Foxpro и другие [7].

Интерпретируемый язык программирования — язык программирования, исходный код которого выполняется методом интерпретации посредством специальной программы-интерпретатора: Python, Perl, Ruby, JavaScript и другие [8].

Концептуальная разница между компилируемым и интерпретируемым языками программирования заключается в скорости отработки кода (у компилируемого она выше) и скорости процесса отладки кода (преимущество на стороне интерпретируемого языка за счёт отсутствия периода ожидания на процесс компиляции между его запуском и отработкой).

Исходя из того, что логические процессы в автоматизированном средстве небольшие по своей сущности, и время выполнения не играет ключевой роли для пользователя [14], то по признаку скорости отработки кода нет разницы между компилируемыми и интерпретируемыми языками. Однако, в соответствии со вторым концептуальным признаком — скоростью отладки кода, интерпретируемые языки программирования однозначно имеют преимущество.

Таким образом, в результате анализа определено, что интерпретируемые языки наиболее приемлемы для реализации автоматизированного средства подтверждения подлинности электронных документов. Теперь нужно сделать обоснованный выбор одного из них.

Python — это высокоуровневый интерпретируемый язык программирования, обладающий строгой динамической типизацией и автоматическим управлением памятью. Язык является полностью объектно-ориентированным, исходя

из того, что всё является объектами [9].

Python является мультипарадигмальным языком программирования, о чём свидетельствует поддержка множества парадигм программирования, а именно: императивной, процедурной, структурной, функциональной, и объектно-ориентированной парадигмой.

Преимущества:

- читабельность кода;
- переносимость программ на другие устройства;
- лёгкость и скорость отладки кода;
- многопоточность;
- быстрое развитие языка;
- большое количество разнообразной документации.

Недостатки:

- более низкая скорость по сравнению с той же программой, написанной на компилируемых языках C или C++.
- сложность в управлении потребляемой памяти.

Perl — высокоуровневый динамический язык программирования общего назначения, является мультипарадигмальным языком программирования, так как может поддерживать такие парадигмы программирования, как функциональное, объектно-ориентированное, процедурное, бесструктурное программирование.

Преимущества:

- встроенные средства для работы со сложными структурами;
- свободный синтаксис;
- простая обработка больших объемов данных;
- кросс-платформенность.

К недостаткам можно отнести лишь узкую область применения и свободный синтаксис, который, в то же время, является и преимуществом этого языка.

Ruby — динамический, рефлексивный, интерпретируемый высокоуровневый язык программирования, который обладает независимой от операционной системы реализацией многопоточности, сильной динамической типизацией, сборщиком мусора и многими другими полезными возможностями.

Несмотря на то, что Ruby представляет собой язык программирования общего назначения, выделяется всего два основных направления его применения: разработка веб-приложений и веб-

сервисов.

Преимущества:

- может внедряться в HTML-разметку;
- относится к языкам программирования сверхвысокого уровня (VHLL), то есть обладает высоким уровнем абстракции и предметным подходом в реализации алгоритмов;
- простой и чистый синтаксис значительно облегчает программистам первые шаги в обучении этому языку;
- имеется простой программный интерфейс для создания многопоточных приложений;
- встроенный отладчик.

К недостаткам Ruby относятся:

- обучение языку выше начального уровня может оказаться непростым;
- информационных ресурсов, посвящённых Ruby, явно недостаточно;
- Ruby менее производителен по сравнению со многими другими языками, применяемыми в веб-разработке;
- Ruby относительно медленно разрабатывается и развивается [10].

JavaScript — мультипарадигменный язык программирования, обладающий динамической типизацией, прототипным программированием, автоматическим управлением памятью.

Поддерживает такие парадигмы программирования как объектно-ориентированное программирование, императивное программирование, функциональное программирование [11].

Преимущества:

- простота и рациональность применения;
- лёгкость в освоении;
- востребованность;
- интерпретируемость.

Недостатки:

- отсутствие чтения и загрузки файлов;
- доступен для злоумышленников;
- динамическая типизация.

Итак, среди рассмотренных языков программирования, наиболее оптимальным языком для ведения последующей разработки программного продукта, является Python, который обладает простотой написания, поддерживает разработку любых видов интерфейсов для программы, будь то веб-сервис, веб-приложение или десктопное приложение, и полностью отвечает возможностям интеграции с другими языками программирования.

Заключение

Таким образом, в результате анализа известных методик и инструментов, применяемых для разработки автоматизированных средств обеспечения целостности данных, было определено, что для создания автоматизированного средства подтверждения подлинности электронных документов наиболее оптимальной является методика, построенная на основе «Каскадной модели с промежуточным контролем» с использованием интерпретируемого языка программирования Python, относящегося к объектно-ориентированной парадигме программирования, который обладает простотой написания, поддерживает разработку любых видов интерфейсов для программы, будь то веб-сервис, веб-приложение или десктопное приложение, и полностью отвечает возможностям интеграции с другими языками программирования.

Список литературы

1. Модели жизненного цикла программного обеспечения [Электронный источник] URL: <https://habr.com/ru/post/111674/> (дата обращения: 19.05.2022).
2. Модели жизненного цикла информационного проекта [Электронный источник] URL: <https://www.evkoval.org/referaty/modeli-zhiznennogo-tsikla-informatsionnogo-proekta> (дата обращения: 20.05.2022).
3. Парадигма программирования [Электронный источник] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Парадигма_программирования (дата обращения: 20.05.2022).
4. Императивное программирование [Электронный источник] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Императивное_программирование (дата обращения: 20.05.2022).
5. Декларативное программирование [Электронный источник] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Декларативное_программирование (дата обращения: 20.05.2022).
6. Функциональное программирование [Электронный источник] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Функциональное_программирование (дата обращения: 20.05.2022).
7. Компилируемый язык программирования [Электронный источник] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Компилируемый_язык_программирования (дата обращения: 20.05.2022).
8. Интерпретируемый язык программирования [Электронный источник] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Интерпретируемый_язык_программирования (дата обращения:

21.05.2022).

9. Python [Электронный источник] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Python> (дата обращения 21.05.2022).
10. PHP, Ruby, Python – краткая характеристика трёх языков программирования [Электронный источник] URL: <https://www.internet-technologies.ru/articles/php-ruby-python-harakteristika-yazykov-programmirovaniya.html> (дата обращения 21.05.2022).
11. JavaScript [Электронный источник] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/JavaScript> (дата обращения 22.05.2022).
12. Маслова М.А., Тищенко Е.Н. Программные методы анализа рисков информационной безопасности // Проблемы проектирования, применения и безопасности информационных систем в условиях цифровой экономики. Материалы XXI Международной научно-практической конференции. Ростов-на-Дону. — 2021. — С. 77-82.
13. Миронова А.О., Гончаренко Ю.Ю., Гоголь А.С., Фролова А.Н. Применение методики оценки угроз безопасности информации // Энергетические установки и технологии. — 2021.—Т. 7. — № 4. С. 71-75.
14. Ожиганова М.И. Архитектура безопасности киберфизической системы // Защита информации. Инсайд.—2022.—№ 2 (104).—С. 5-9.

References

1. Software life cycle models [Electronic source] URL: <https://habr.com/ru/post/111674/> (accessed: 19.05.2022).
2. Models of the life cycle of an information project [Electronic source] URL: <https://www.evkoval.org/referaty/modeli-zhiznennogo-tsikla-informatsionnogo-proekta> (accessed: 20.05.2022).
3. Programming paradigm [Electronic source] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Парадигма_программирования (accessed: 20.05.2022).
4. Imperative programming [Electronic source] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Императивное_программирование (accessed: 20.05.2022).
5. Declarative programming [Electronic source] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Декларативное_программирование (accessed: 20.05.2022).
6. Functional programming [Electronic source] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Функциональное_программирование (accessed: 20.05.2022).
7. Compiled programming language [Electronic source] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Компилируемый_язык_программирования (accessed 20.05.2022).
8. Interpreted programming language [Electronic

- source] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Интерпретируемый_язык_программирования (accessed 21.05.2022).
9. Python [Electronic source] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Python> (accessed 21.05.2022).
 10. PHP, Ruby, Python - a brief description of three programming languages [Electronic source] URL: <https://www.internet-technologies.ru/articles/php-ruby-python-harakteristika-yazykov-programmirovaniya.html> (accessed 21.05.2022).
 11. JavaScript [Electronic source] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/JavaScript> (accessed 22.05.2022).
 12. Maslova M.A., Tishchenko E.N. Software methods for risk analysis of security detection // Problems of implementation, application and security of information systems in the digital economy. Proceedings of XXI international scientific-practical conference. Rostov-on-Don. - 2021. - S. 77-82.
 13. Mironova A.O., Goncharenko Yu.Yu., Gogol A.S., Frolova A.N. Application of the methodology for assessing the threat to information security // Power plants and technologies. - 2021. - T. 7. - No. 4. S. 71-75.
 14. Ozhiganova M.I. Security Architecture of a Cyber-Physical System // Information Security. Inside. - 2022. - No. 2 (104). — S. 5-9.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 502

**Оценка влияния антропогенной нагрузки на жизненное состояние
Styphnolobium japonicum (L.) Schott**

М.А. Косовская¹, Н.В. Лямина², Т.К. Хренова³,
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия,

¹MAKosovskaya@sevsu.ru, ²NVLyamina@sevsu.ru, ³hugo1349@mail.ru

Статья поступила 21.04.2022 г.; после доработки 22.04.2022 г.

Аннотация

Исследования функций зеленых насаждений общего пользования с учетом влияния антропогенной нагрузки разной степени интенсивности на жизненное состояние дендроформы. Анализ жизненного состояния *S.japonicum* по морфологическим и по биохимическим признакам. Анализ устойчивости данной дендроформы к аэротехногенным загрязнениям г.Севастополя. Рекомендации по использованию данного вида при фитомелиорации.

Ключевые слова: загрязнение воздуха, урбанизированная среда, зеленые насаждения, функции зеленых насаждений, антропогенная нагрузка, эколого-морфологический анализ, биоиндикация, фитомелиорация.

**Assessment of the impact of anthropogenic load on the vital state of
Styphnolobium japonicum (L.) Schott**

М.А. Kosovskaya¹, N.V. Lyamina², T.K. Khrenova³
Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, RF

¹MAKosovskaya@sevsu.ru, ²NVLyamina@sevsu.ru, ³hugo1349@mail.ru

Received 21.04.2022 y.; received in final form 22.04.2022 y.

Abstract

Studies of the functions of public green spaces, taking into account the influence of anthropogenic load of varying degrees of intensity on the vital state of the dendroform. Analysis of the vital state of *S.japonicum* by morphological and biochemical characteristics. Analysis of the stability of this dendroform to aerotechnogenic pollution of Sevastopol. Recommendations for the use of this species in phytomelioration.

Keywords: air pollution, urbanized environment, green spaces, functions of green spaces, anthropogenic load, ecological and morphological analysis, bioindication, phytomelioration.

Введение

Интенсивное развитие урбанизированных территорий приводит не только к увеличению количества промышленных предприятий и транспортных средств, но и как следствие, к значительному загрязнению атмосферного воздуха городов [1,2]. Одним из основных способов решения данной проблемы является созда-

ние зеленых зон (парки, скверы, бульвары, клумбы, куртины и т.д). Все они представляют собой зеленые насаждения общего пользования (ЗНОПы). Данные зоны выполняют различные экологические роли по защите и очистки атмосферного воздуха городов от загрязнений, рекреационные и архитектурно-планировочные функции. [2,3,4]

Поступающие в растительный организм вредные компоненты выбросов вызывают широкий спектр изменений, которые можно характеризовать как стресс – индуцируемые. По мнению Коршикова И.И., Горчаковского П.Л., анализируя состояние зеленых насаждений города, мы приобретаем возможность определения состояния окружающей среды [2,3]. При этом, выявляя наиболее газоустойчивые дендроформы к различным антропогенным загрязнениям, мы расширяем возможности фитомелиорации конкретных урбанизированных территорий.

Постановка цели научного исследования

Цель исследования: изучение и анализ влияния антропогенной нагрузки разной интенсивности на жизненное состояние *S. japonicum*.

Для достижения поставленной цели были разработаны следующие задачи:

1. Проанализировать роль древесных насаждений в урбоэкосистемах, механизмы устойчивости древесных растений к аэротехногенному загрязнению, а также критерии, определяющие жизненное состояние древесных растений.
2. Оценить жизненное состояние софоры японской при воздействии антропогенной нагрузки разной интенсивности.
3. Разработать рекомендации использования данного объекта исследования при фитомелиорации города.

Объектом исследования была выбрана *Styphnolobium japonicum* (L.) Schott. Данное растение является одним из наиболее часто используемых при фитомелиорации города Севастополя.

Описание исследования

Фитомониторинг представляет собой постоянную комплексную диагностику состояния растений, а так же это непосредственный и непрерывный контроль за процессами их роста и развития [3,4,5,6]. В ходе многолетних исследований атмосферного воздуха центральных улиц города Севастополя, был получен массив данных [1,2,3,4,6,7,8]. Были проведены замеры по основным загрязняющим веществам (сернистый ангидрид, оксиды азота и оксиды углерода) прибором УГ2, так же были исследованы зеленые насаждения на выбранных территориях. В результате была создана структура фитомониторинговых исследований для биоиндикации

[4,5] Полученные данные позволяют не только оценить качество атмосферного воздуха урбанизированной территории, но и выявить дендроформы как газоустойчивые, так и газочувствительные. В качестве тест-объектов использовались практически все растения применяемые при фитомелиорации. В настоящее время при обследовании древесных пород произрастающих в городской среде используется большое количество методик, которые имеют свои достоинства и недостатки. Для повышения надежности экологической системы, необходимо использовать не один, а несколько методов биоиндикации [2,3,4,6,7,8]. Для полной достоверной информации в кратчайшие сроки необходимо выбирать наиболее информативные показатели, для того чтоб не перезагружать исследовательские параметры. В связи с этим большое значение приобретает мониторинг зеленых насаждений и выявление растений, в разной степени устойчивых к таким нагрузкам.

Выявление газоустойчивых дендроформ, являющихся с одной стороны адвентивными, но с другой достаточно успешно приживающимися на данной территории, является важной задачей при фитомелиорации.

Таким образом, анализ состояния уже используемых растений является актуальным для дальнейшего озеленения города. В ходе исследований использовались морфологические и биохимические показатели, на основании которых оценивали жизненное состояние *S. japonicum* [2,3,4,6,7,8].

Результаты исследований

Районами исследования были выбраны центральные улицы всех административных районов города Севастополя (Гагаринский, Ленинский и Нахимовский муниципальные округа). Было исследовано 500 деревьев.

Интенсивность антропогенной нагрузки определялась в зависимости от концентрации эксгалатов в атмосферном воздухе, которые вызывают у древесных растений такие повреждения как некрозы, суховершинность, трещины коры, ступенчатый рак и др. По результатам морфологических исследований построены следующие гистограммы (рис. 1,2)

Для оценки использовалась разработанная авторами система баллов:

6 баллов – Повреждения древесных растений единичны или отсутствуют;

5 баллов – Повреждения древесных растений занимают менее 10 %;

4 балла – Повреждения древесных растений занимают 10...25 %;

3 балла - Повреждения древесных растений занимают 26...50 %;

2 балла - Повреждения древесных растений занимают 51...75 %; 1 балл - Повреждения древесных растений занимают свыше 75 %.



Рис. 1. Результаты морфологических исследований.

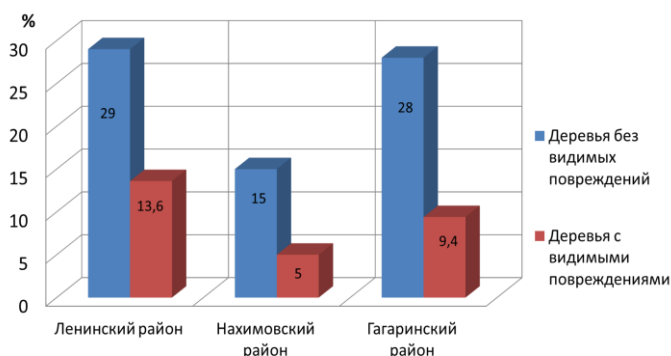


Рис. 2. Доля поврежденных деревьев от общего количества, по районам исследования, %

В результате, из исследованных дендроформ «условно здоровыми» являются 72% растений, видимые повреждения обнаружены у 28%. Суховершинность была обнаружена у 3% деревьев, начальные стадии ступенчатого рака – 1%, трещины коры – 96%. Такие повреждения вызваны тем, что в условиях техногенного загрязнения у растений происходит нарушения физиологических процессов, дыхания и фотосинтеза, вследствие чего, возникают видимые повреждения. Такие повреждения приводят к невозможности выполнения дендроформами своих экологических функций [8,9,10].

В качестве объектов исследования выбирались дендроформы, используемые при фитомелиорации ЗНОПов, т.е произрастающие в наиболее антропогенно нагруженных территориях. Большая степень поврежденности у *S.japonicum* наблюдалась в зонах интенсивного

движения автотранспорта, но, несмотря на это, повреждения не значительны. На гистограмме 2 представлена доля поврежденных деревьев от общего количества, по районам исследования

По данным Севприроднадзора превышения по эксгалатам в последние годы не наблюдалось [5], однако низкие концентрации фитотоксикантов могут вызывать скрытые на биохимическом и физиологическом уровне нарушения.

Проанализировав районы, с разной антропогенной нагрузкой были выбраны 9 точек отбора проб. В зависимости от антропогенной нагрузки, точки были разделены на 3 группы: «условно чистые», «условно грязные» и 2 точки в результате исследования мы отнесли к точкам со средней степенью загрязненности. К «условно чистым» мы отнесли 4 точки это Т5 (ул.Хрусталева), Т4 – внутридворовая территория ул. Сафронова, и Точки 7 и 8 – внутридворовая территория ул. Б.Морская на данные точки оказывается незначительная антропогенная нагрузка загрязняющие вещества со стороны улицы экранируются зданиями, интенсивность ночного освещения слабая.

К «условно грязным» точкам мы отнесли 3 точки, это Т2 (перекресток улиц Большая Морская и Генерала Октябрьского), Т3 (остановка пл. Ушакова) и Т9 (остановка пл.Нахимова) данные объекты характеризуются только влиянием интенсивного движения автотранспорта, но в Т2 растение еще находится в непосредственной близости от многоэтажного дома. К точкам со средней степенью загрязненности отнесены Т1 (парковая зона ИЯЭиП) и Т6 (территория СРЗ-91)

В ходе биохимических анализов было определено содержание серы в листьях Софоры. Экспериментальные данные за осенний период показали, что наибольшее количество серы наблюдается в точках с интенсивным движением автотранспорта. Содержание серы в «условно грязных» в 2,5 раза больше чем в контрольной точке. В весенний период содержание серы меньше. Это связано с началом вегетационного периода. Помимо этого необходимо отметить, что Софора обладает хорошие детоксикационной способностью, этому свидетельствует то, что при отборе проб в Т2 листья Софоры были маслянистые, а проведя лабораторный анализ количество серы в листьях незначительно (рис. 3). В связи с тем, что содержания хлорофилла в листьях очень динамично и зависит от большого количества абиотических факторов. В ходе исследований использовался показатель характеризующий биопродуктивность. Данный пока-

затель дает сведения об состоянии его организма и как следствие способность выполнять газоочистительные функции. [10,11,12,13], Результаты исследования показали, что в «чистых точках» биопродуктивность в 1,9 раз больше по сравнению с «условно грязными» точками. В начале вегетативного периода биопродуктивность в листьях больше примерно в 1,03-1,08 раз. Это связано с благоприятными погодными условиями, а также с тем, что в весенний период накопление фитотоксичных веществ и их воздействие на ассимиляционные органы древесных растений незначительно.

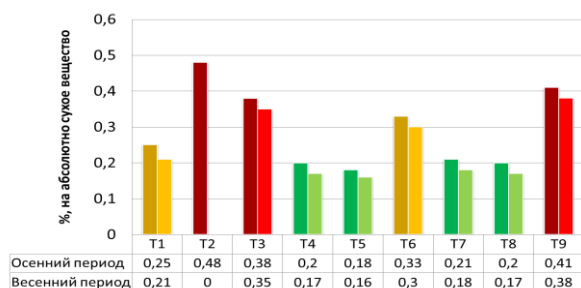


Рис.3. Содержание серы в листьях *S.japonicum*

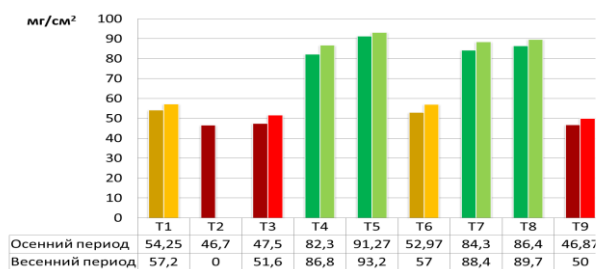


Рис.4. Биопродуктивность (содержание органического вещества) в листьях *S.japonicum*

В условиях техногенного загрязнения нарушение дыхания и фотосинтеза является стресс-фактором для растений. [14,15,16], Поэтому из направлений современных исследований по биохимическим показателям являются определение активности антиоксидантных ферментов, в частности активность каталазы. Экспериментальные данные показали, что наибольшая активность фермента наблюдается в «условно чистых» точках и ее значение в 1,6 раз больше чем в условно грязных точках (рис. 5).

По результатам исследования были построены графики за осенний период и за весенний, на которых показана динамика показателей. Чем «грязнее» точка, тем биопродуктивность и активность каталазы меньше, а количество серы больше.

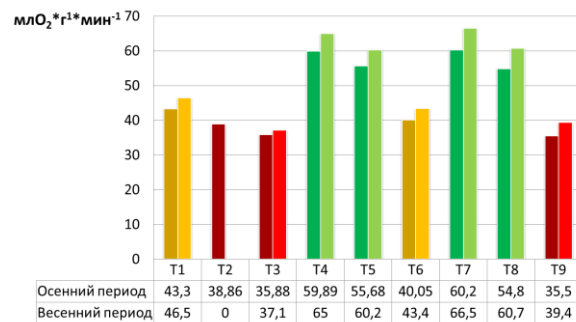


Рис.5. Динамика активности каталазы в листьях *S. japonicum*

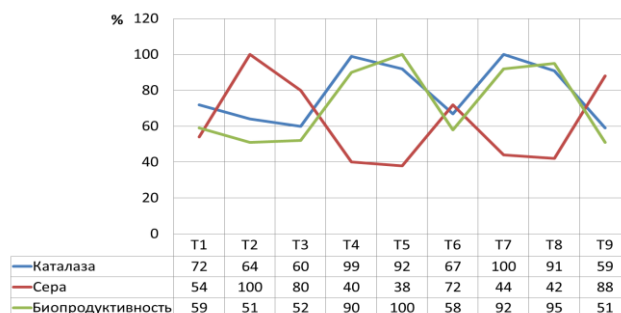


Рис.6. Динамика показателей каталазы, серы и биопродуктивности, в зависимости от антропогенной нагрузки (данные за осенний период)

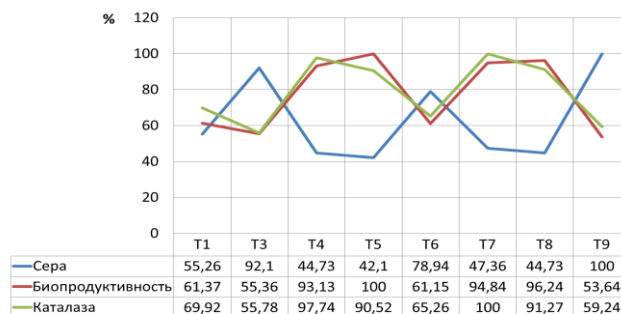


Рис. 7. Динамика показателей каталазы, серы и биопродуктивности, в зависимости от антропогенной нагрузки (данные за весенний период)

Заключение

Растительность, как неотъемлемая часть городских ландшафтов, является основным стабилизирующим фактором, который способен снижать напряженность урбанизированной среды и способствовать её устойчивому развитию..

Городская флора формируется из видов растений устойчивых к антропогенным факторам и проявляющих устойчивость к разновидностям стресса.

Зеленые территории города выполняют

огромную санитарно-гигиеническую роль в нейтрализации аэротехногенного загрязнения. ЗНОПы не только задерживают пыль, концентрируют в листьях тяжелые металлы, формируют химический состав воздуха, рассеивая эксгалаты и обогащая воздух кислородом, снижают шумовую нагрузку от антропогенных источников, но и выполняют рекреационную функцию. [1,2,3,4,7,8]. Кроме того, городские дендроформы выполняют архитектурно планировочную роль. На выполнении ЗНОПами своих функций влияют состояние растений. Критериями, определяющими жизненное состояние древесных растений, в первую очередь являются антропогенные нагрузки, условия посадки и ухода. Особое внимание следует уделять виду дендроформ, используемых при озеленении того или иного ЗНОПа. Результаты исследований жизненного состояния *S.japonicum* по морфологическим и по биохимическим показателям показало, что данный вид является газоустойчивым ко всем эксгалатам, находящимся в воздухе г.Севастополя. Кроме того, результаты исследований позволяют говорить и о нечувствительности растений к основным заболеваниям и древесным паразитам.

Рекомендуется для аллейных, групповых и одиночных посадок, для озеленения промышленных предприятий. Но использовать данный вид для озеленения территорий детских садов, парков и площадок не рекомендуется, связи с ядовитостью плодов.

Список литературы

1. Косовская М.А., Лямина Н.В., Хренова Т.К., Каширина Е.С. Оценка состояния атмосферного воздуха примаргистральных территорий г.Севастополя Энергетические установки и технологии. 2020. Т. 6. № 1. С. 159-164
2. Косовская М.А., Лямина Н.В., Ленивенко Н.Н. Оценка динамики изменения степени аэрозатравления воздуха г.Севастополя Энергетические установки и технологии. 2021. Т. 7. № 1. С. 105-113.
3. Косовская М.А., Лямина Н.В., Хренова Т.К., Ленивенко Н.Н. Рекомендации по организации фитомониторинга г.Севастополя Энергетические установки и технологии. 2021. Т. 7. № 1. С. 114-120.
4. Косовская М.А., Лямина Н.В., Хренова Т.К. Оценка функционального состояния дендроформ г.Севастополя в условиях интенсивной антропогенной нагрузки Энергетические установки и технологии. 2021. Т. 7. № 1. С. 97-104
5. Ежегодный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города Севастополя за 2020 год
6. Косовская М.А., Лямина Н.В., Александрова С.С., Шинкоренко А.А., Якименко Е.Ю. Анализ состояния атмосферного воздуха основных магистралей г.Севастополя В сборнике: Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность - 2019. Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. Под редакцией Л.И. Лукиной, Н.В. Ляминой. 2019. С. 834-839.
7. Косовская М.А., Шман С.С., Шинкаренко А.А., Костылев С.С., Раджабов В.Н., Семенова Е.С., Хренова Т.К. Анализ качества окружающей среды урбанизированных территорий в условиях автотранспортного загрязнения В сборнике: Морские исследования и рациональное природопользование. Материалы молодежной научной конференции. 2018. С. 295-297.
8. Зеленые насаждения как средство улучшения экологии города. Соловьева О.С. и др. 2010. – Научная электронная библиотека КиберЛенинка. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/>
9. Горохов В.А. Городское зеленое строительство. Стройиздат. Москва, 1991. – 416
10. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.
11. Чернышенко О.В. Поглощительная способность и газоустойчивость древесных растений в условиях города. – М.: Изд-во МГУЛ, 2002. – 120 с.
12. Селье Г. Стресс без дистресса / Г. Селье. – М: Прогресс, 1979. – 123 с.
13. Якушкина Н.И, Бахтенко Е.Ю. Физиология растений / Электронная библиотека. 2010. URL: <http://fizrast.ru/osnovy-ustoychivosti/stress.html> (дата обращения: 20.04.2020).
14. Asada K. The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons // Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. – 1999. – V. 50. – P. 601-639.
15. Yamane Y., Kashino Y., Koike H., Satoh K. Effect of high temperatures on the photosynthetic systems in spinach: Oxygen-evolution activity, fluorescence characteristics and the denaturation process // Photosynthesis Research. – 1998. – V. 57. – P. 51-59.
16. Meneguzzo S., Navari-Izzo F., Izzo R. Antioxidative responses of shoots and roots of wheat to increasing NaCl concentrations // J. Plant. Physiol. – 1999. – V. 155. – P. 274-280.

References

1. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Khrenova T.K., Kashirina E.S. Assessment of the state of atmospheric air in the main areas of the city of Sevastopol Power plants and technologies. 2020. V. 6. No. 1. S. 159-164
2. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Lenivenko N.N. Evaluation of the dynamics of changes in the degree of air pollution in the city of Sevastopol

- Power plants and technologies. 2021. V. 7. No. 1. S. 105-113.
3. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Khrenova T.K., Lenivenko N.N. Recommendations for the organization of phytomonitoring in the city of Sevastopol Power plants and technologies. 2021. V. 7. No. 1. S. 114-120.
 4. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Khrenova T.K. Evaluation of the functional state of dendroforms in the city of Sevastopol under conditions of intense anthropogenic load Power plants and technologies. 2021. V. 7. No. 1. S. 97-104
 5. Annual report on the state and environmental protection of the city of Sevastopol for 2020
 6. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Aleksandrova S.S., Shinkorenko A.A., Yakimenko E.Yu. Analysis of the state of atmospheric air on the main highways of the city of Sevastopol In the collection: Environmental, industrial and energy security - 2019. Collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference. Edited by L.I. Lukina, N.V. Lyamina. 2019. S. 834-839.
 7. Kosovskaya M.A., Shman S.S., Shinkarenko A.A., Kostylev S.S., Radzhabov V.N., Semenova E.S., Khrenova T.K. Analysis of the quality of the environment of urbanized areas under conditions of motor transport pollution In the collection: Marine research and rational environmental management. Materials of youth scientific conference. 2018. S. 295-297.
 8. Green spaces as a means of improving the ecology of the city. Solovieva O.S. et al. 2010. – CyberLeninka Scientific Electronic Library. – Access mode: <https://cyberleninka.ru/>
 9. Gorokhov V.A. Urban green building. Stroyizdat. Moscow, 1991. - 416
 10. Alekseev V.A. Diagnostics of the vital state of trees and forest stands // Lesovedenie. 1989. No. 4. S. 51–57.
 11. Chernyshenko O.V. Absorption capacity and gas resistance of woody plants in urban conditions. - M.: MGUL Publishing House, 2002. - 120 p.
 12. Selye G. Stress without distress / G. Selye. - M: Progress, 1979. - 123 p.
 13. Yakushkina N.I., Bakhtenko E.Yu. Plant Physiology / Electronic Library. 2010. URL: <http://fizrast.ru/osnovy-ustoychivosti/stress.html> (accessed 20.04.2020).
 14. Asada K. The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons // Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. – 1999. – V. 50. – P. 601-639.
 15. Yamane Y., Kashino Y., Koike H., Satoh K. Effect of high temperatures on the photosynthetic systems in spinach: Oxygen-evolution activity, fluorescence characteristics and the denaturation process // Photosynthesis Research. – 1998. – V. 57. – P. 51-59.
 16. Meneguzzo S., Navari-Izzo F., Izzo R. Antioxidative responses of shoots and roots of wheat to increasing NaCl concentrations // J. Plant. Physiol. – 1999. – V. 155. – P. 274-280.

УДК 528.8

Применение методов дистанционного зондирования для оценки качества урбаноcреды

М.А. Косовская¹, С.Ю.Косовская² Н.В. Лямина¹, Т.К Хренова¹, Н.Н. Ленивенко¹¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия,²ГБОУ ДО г. Севастополя «Севастопольский центр эколого-натуралистического творчества учащейся молодежи», ул.Хрусталева, 71/корпусА, г. Севастополь, Россия 299040e-mail: MAKosovskaya@sevsu.ru, kosovskaya303@gmail.com, NVLyamina@sevsu.ru, ³hugo1349@mail.ru, ninamypost@yandex.ru

Статья поступила 12.05.2022 г.; после доработки 13.05.2022 г.

Аннотация

Выявлена трехлетняя динамика показателей загрязняющих веществ, а также показателей вегетативной активности как маркера при регистрирующей биоиндикации. Проведен анализ состояния зеленых насаждений общего пользования муниципальных округов г. Севастополя.

Ключевые слова: загрязнение воздуха, урбанизированная среда, зеленые насаждения общего пользования, дистанционное зондирование, ГИС-технологии, биоиндикация

Application of remote sensing methods to assess the quality of the urban environment

М.А. Kosovskaya¹, S.Y. Kosovskaya², N.V. Lyamina¹, T.K. Khrenova¹,
N.N. Lenivenko¹¹Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, RF²SBEI of A E " Sevastopol Center of ecological and naturalistic creativity of student youth" 71/body A, Khrustaleva st., Sevastopol, 299040, Russia. e-mail: MAKosovskaya@sevsu.ru, kosovskaya303@gmail.com, NVLyamina@sevsu.ru, ³hugo1349@mail.ru, ninamypost@yandex.ru

Received 12.05.2022 y.; received in final form 13.05.2022 y.

Abstract

A three-year dynamics of pollutant indicators, as well as indicators of vegetative activity as a marker during recording bioindication, was revealed. An analysis of the state of public green spaces in the municipal districts of the city of Sevastopol was carried out.

Keywords: air pollution, urbanized environment, public green spaces, remote sensing, GIS technologies, bioindication green spaces.

Введение

Глобальные преобразования природной среды имеют непосредственную связь с деятельностью человека. С развитием промышленности и транспорта появились антропогенно-измененные урбанизированные территории, т.е. города.

За последние 100 лет урбанизация России увеличилась более чем в 4 раза. [1,2,3,4].

Следует отметить, что стремительный рост городов и увеличение численности городского населения являются значительными факторами, влияющими на преобразование окружающей среды.

На сегодняшний день в связи с интенсивным развитием в городах промышленности и транспорта в атмосферу, гидросферу и педосферу поступает большое количество экссудатов. Результатом влияния техногенных нагрузок является появление качественно новой природно-антропогенной среды, которую можно считать основой экологической структуры города. Проблема контроля и защиты окружающей среды от вредных веществ является актуальной проблемой любой урбанизированной среды. В городской среде практически нет растительных сообществ, которые не подвергаются антропогенным воздействиям, оказывающим влияние на физиологическое, морфологическое и эстетическое состояние городской растительности.

Изучение зеленых насаждений, находящихся под антропогенным прессингом, в последние десятилетия привлекает все большее внимание. Одной из основополагающих проблем в зеленом строительстве крымских населенных пунктов является отсутствие актуальной на сегодня не только концептуально-теоретической системы благоустройства и озеленения [2,5,6], но и выполнение зелеными насаждениями своих функций. Развитие такой системы может быть только при наличии соответствующей тематической базы данных зеленых насаждений. Такая база данных, имеющая в своем составе не только данные инвентаризации всех зеленых зон города, но и оценку их состояния, позволит не только выявить недостатки в озеленении города, но и оценить состояние окружающей среды, используя методы биоиндикации. К сожалению, в большинстве городов Крыма работы по инвентаризации зеленых насаждений общего пользования коммунальными службами не проводились последние 5–10 лет, что существенно затрудняет проведение и планирование мероприятий по восстановлению и развитию городского благоустройства и озеленения [1,7,8,9].

Одним из возможных вариантов решения данной проблемы является применения данных дистанционного зондирования земли полученных при помощи ГИС технологий, которые позволяют как произвести работу по изучению новых территории с получением необходимой информации, так и своевременно и регулярно получать данные о всех изменениях, происходящих на территории исследуемых объектов, за необходимый промежуток времени. Таким образом, использование ГИС технологий в управлении состоянием окружающей среды является актуальной и важной темой [9].

Постановка цели научного исследования

Цель исследования: применение методов дистанционного зондирования для оценки качества урбаносреды на примере муниципальных округов города Севастополя.

Для достижения данной цели, были поставлены следующие задачи:

- 1) Проанализировать город, как целостную урбанизированную среду, особое внимание, уделив зеленым насаждениям общего пользования.
- 2) Проанализировать возможность применения дистанционного зондирования в сфере контроля состояния окружающей среды.
- 3) Оценить состояние атмосферного воздуха г. Севастополя в интервале с 2018 по 2020 год, включая инвентаризацию источников загрязнения атмосферного воздуха г. Севастополя.
- 4) Оценить состояния зеленых насаждений общего пользования муниципальных округов г. Севастополя по показателям фотосинтетическую активность биомассы, путем применения методов дистанционного зондирования и ГИС технологий.

Описание исследования

Урбанизированная городская среда является сложной экосистемой, состоящей из тесно связанных между собой компонентов природной среды, которая изменяется в процессе постоянно оказываемого на нее антропогенного воздействия, и компонентов техносферы, искусственно созданной в процессе жизнедеятельности человека [10].

Зелёные насаждения урбанизированной среды разделяются в зависимости от предъявляемых к ним требований на три группы: зеленые насаждения общего пользования (ЗНОПы), специального пользования, и ограниченного пользования. Наиболее распространёнными в городской среде являются ЗНОПы, создание которых направлено как на повышения эстетической вида города, так и выполнение рекреационных и защитных функции.

Такие функции позволяют населению проводить время на свежем воздухе, и заниматься культурно-просветительской деятельностью и физкультурой, одновременно, защищая от шумового, пылевого, газового воздействия, образующегося на улицах города, так и ультрафиолетового излучения, исходящего от солнца.

Контроль состояния каждой из компонентов является важной природоохранной задачей, а использование данных дистанционного зондирования для этих целей является не только актуальной, но и перспективной задачей [1,11,12].

Разные виды аэрокосмических съемок применяются в различных географических, народнохозяйственных, ландшафтных и экологических направлениях исследования Земли. С развитием космической и самолетной отраслей все больше возможностей получает использование различных летательных аппаратов для получения данных, необходимых для исследования. Материалы дистанционного зондирования получают в результате неконтактной съемки с воздушных аппаратов. Полученные исходные данные разнообразны по масштабу, геометрическому разрешению и различным спектральным набором. Применение того или иного способа применения дистанционного зондирования зависит от целей получения необходимой базы данных.

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) - наблюдение поверхности Земли авиационными и космическими средствами, оснащенными различными видами съемочной аппаратуры. Рабочий диапазон длин волн, принимаемых съемочной аппаратурой, составляет от долей микрометра (видимое оптическое излучение) до метров (радиоволны). Исходя из этого, получаемые данные являются высокоточными [9].

При помощи использования баз данных ГИС, становится возможным расшифровка изображения полученного, со спутников или путем аэрофотосъемки, с использованием как пилотируемых, так и беспилотных аппаратов, оснащенных необходимым оборудованием. В процессе обработки полученного изображения становится возможным создания тематических карт, на которых возможно нанесение информация необходимая для решения поставленных задач, причем, как при оценки текущей ситуации, так и при прогнозировании ее развития [7,8,9].

Результаты исследований

Зеленые насаждения общего пользования являются одним из основных средообразующих компонентов городской урбанизированной среды. Они выполняют огромную функцию в

защите населения от неблагоприятных факторов, возникающих в городе, и позволяют жителям проводить время в окружении природы, тем самым выполняя рекреационную функцию. Контроль состояния таких территорий является одним из приоритетных направлений природоохранных мероприятий.

В качестве объектов исследования были выбраны зеленые насаждения общего пользования, наиболее подверженные антропогенной нагрузке, исходя из специфики их расположения на территории Гагаринского, Ленинского, Нахимовского и Балаклавского муниципальных округов г. Севастополя.

Результаты дистанционного зондирования показали, что распределение ЗНОП на территории Гагаринского МО, наиболее выражено на приближенных к берегам Черного моря участкам (рис.1а). В Ленинском МО большая часть скверов расположена близко к центральной части города, и уменьшается по удалению (рис. 1б). Такая же ситуация в Нахимовском МО и в Балаклаве (рис. 1в). В поселке Инкерман ЗНОП расположены с определенной спецификой. Скверы расположены по границам поселка, где имеется высокая антропогенная нагрузка за счет большого количества, проезжающего транспорта, а парковые зоны расположены в центральной части.

Такая специфика расположения ЗНОП повлияло и на уровень антропогенного воздействия исследуемых МО. Основной средой, влияющей на состояние ЗНОП это атмосферный воздух. Ежегодные отчеты Севприроднадзора на период с 2018 по 2020 показали, что на территории города Севастополя основными источниками загрязнения атмосферного воздуха является автотранспорт и объекты теплоэнергетического комплекса.

Основным поллютантом, превышающим нормативные показатели, являются взвешенные вещества, по остальным загрязнителям превышение нормативных показателей не зафиксировано. Индекс загрязнения атмосферы за весь исследуемый период оценивается как низкий. [1,12,13,14] Однако, исследования, проведенные во всех МО города показали не достаточную достоверность таких данных..

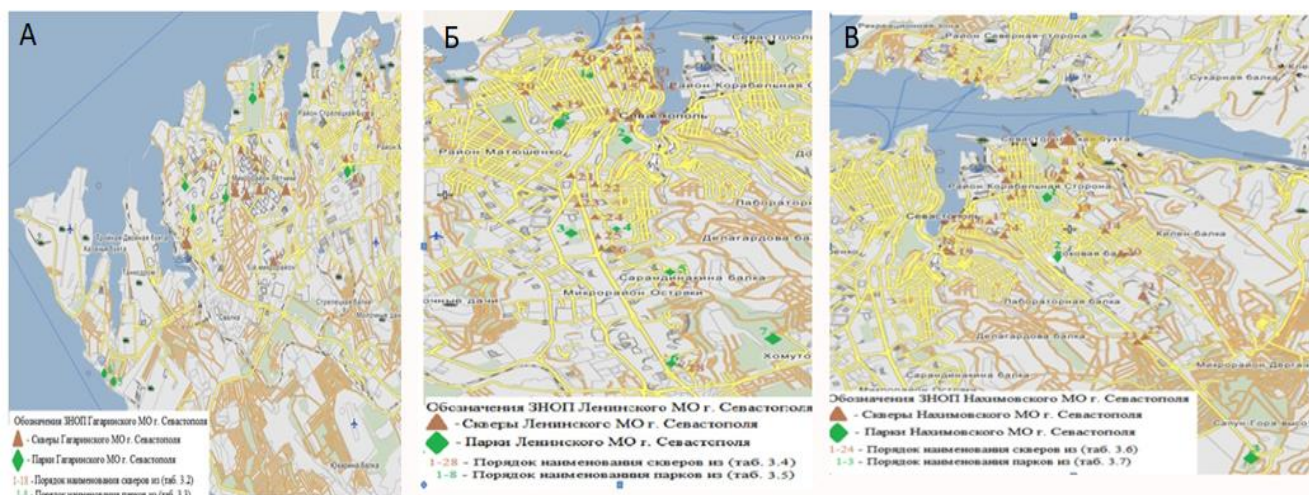


Рис. 1. Расположение исследуемых ЗНОП по административным МО города Севастополя

Согласно данным статистической отчетности в 2018 году наибольшее значения валового выброса приходилось на тепло энергетический комплекс (рис. 2а), однако в связи с началом проведения интенсивных работ по реконструкции городских территорий за 2019 и 2020 год ключевым источником становится ГУП «Благоустройства города Севастополя» (рисунок 2б). [1,12,13,14]. Данное предприятие имеет широкий спектр функций «по вопросам общего характера», к которому относится и вывоз отходов, строительные, земляные работы и т.д. Такое воздействие носит локальный, и не накопительный характер. Тогда как крупные котельные выбрасывают в атмосферный воздух поллютанты, которые имеет не только канцерогенный эффект, но и токсичный для большинства зеленых насаждений.

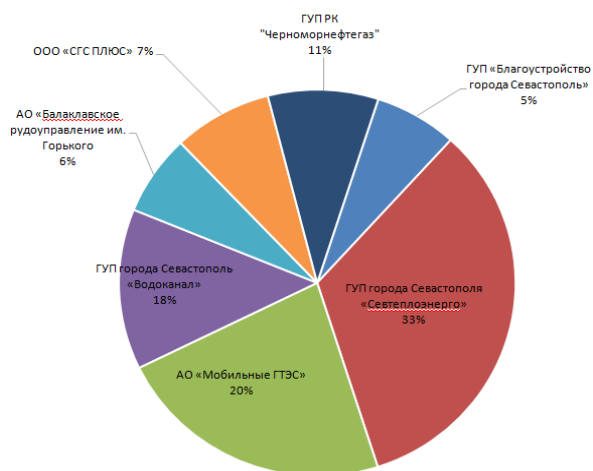


Рис. 2а. Инвентаризация источников загрязнения атмосферного воздуха г. Севастополя (2018 г.).

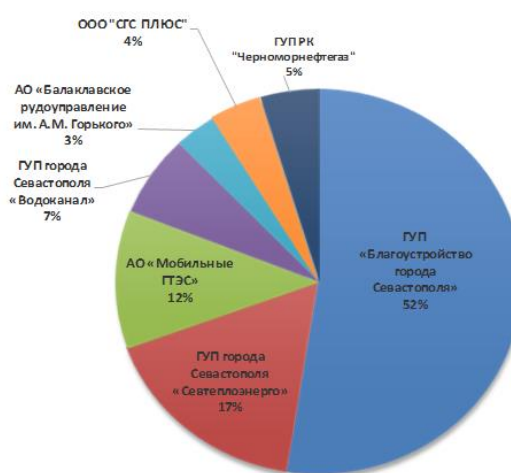


Рис. 2б. Инвентаризация источников загрязнения атмосферного воздуха г. Севастополя (2019-2020 г.).

Севприроднадзора превышения по эксгалатам в последние годы не наблюдалось [5], однако низкие концентрации фитотоксикантов могут вызывать скрытые на биохимическом и физиологическом уровне нарушения.

По результатам проведенных ранее исследований было выявлено, что данные государственного мониторингового контроля носят обобщающий и не всегда достоверный характер. В частности, при оценке состояния ОС не учитывается воздействие конкретных источников на ЗНОП, расположенный на территории, попадающей его под воздействие.

По результатам многолетних исследований районов города, проводимых методом биоиндикации была построена диаграмма ранжирования МО по баллам. Результаты показали, что наиболее загрязненным районом города является Гагаринский, наиболее чистым – Балаклавский,

Ленинский и Нахимовский находится в удовлетворительном состоянии (рис.3).

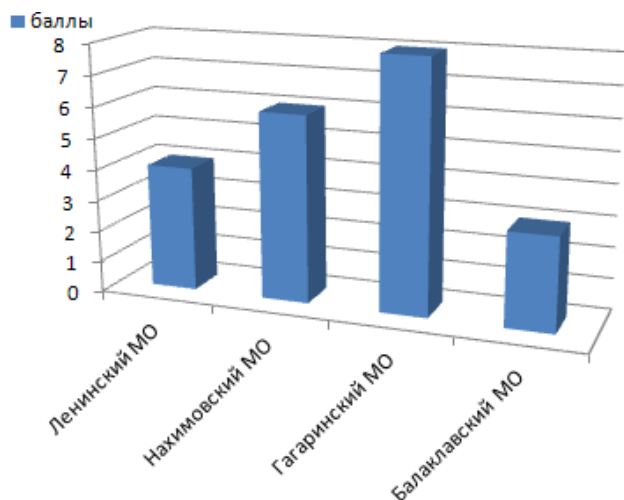


Рис. 3. Ранжирование МО г.Севастополя по степени загрязнения атмосферного воздуха.

В качестве маркеров при биоиндикации использовалось функциональное состояние ЗНО-Пов, морфофизиологическое состояние дендроформ, количество хлорофилла в листьях и флуктуирующую асимметрию листовой пластины. Однако такие методы могут быть использованы только при регистрирующей биоиндикации.

Применение дистанционного зондирования территории города при помощи ГИС технологий, позволяет регулярно получать данные по всем изменениям, происходящим на территории исследуемых объектов, за необходимый промежуток времени [7].

На состояние окружающей среды, на выполнение исследуемыми ЗНОП своих экологических функций влияет количественный состав зеленых насаждений.

Чем больше биоразнообразие зеленых насаждений, тем более устойчивым будет зона к антропогенной нагрузке. Таким образом, показатели вегетативной активности NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) могут быть использованы в качестве маркера как при регистрирующей, так и аккумулирующей биоиндикации. Для получения сезонных данных маркера для биоиндикационной оценки использовалась программа Land Viewer. С помощью ГИС-технологии, используя спутниковые снимки, было произведено наложения индексов вегетативной активности NDVI (рис. 4).

Соответственно, красным цветом выделены зоны с отсутствием дендроформ, а зеленым – зоны с высокой вегетативной активностью.

В качестве исходных данных для анализа использовался снимок с космического аппарата Sentinel-2a за 26 июля 2017 г. на территорию юго-западной части Крымского полуострова. Предварительная обработка заключалась в радиометрической калибровке снимка и последующей атмосферной коррекции. Полученные значения отражательной способности 8 и 4 каналов пересчитаны в количественный показатель – индекс NDVI. Затем пространственное распределение индекса вегетации было пропущено через алгоритм автоматической классификации с обучением и выделены 5 типов территорий. Для каждого из классов рассчитаны средний, среднеминимальный и среднемаксимальный показатели NDVI.

Из распределения территории Гагаринского Ленинского Нахимовского Балаклавского МО по значениям NDVI можно сказать, что к зонам с наиболее густой растительностью относят Гагаринский МО (2.86%), к участкам с разреженной растительностью так же Гагаринский МО - 49.5%, остальные МО в целом можно отнести к зонам с умеренной растительностью (рис.4).

Для более полного анализа причин различия параметров NDVI были построены и проанализированы временные ряды с промежутком времени с 1 января 2018 года по 31 декабря 2020 года, в четырех муниципальных округах города Севастополя (рис. 5). Оценка состояния зеленых насаждений г. Севастополя проводилась с использованием дистанционных методов зондирования Земли: космического снимка и рассчитанного на его основе индекса количества фотосинтетически активной биомассы.

Из графиков распределения вегетативной активности за исследуемый период видно незначительные изменения, которые отражают выполнения своих функций ЗНОП и отображают улучшения показателей в зависимости от значения индекса NDVI. Для расчета индекса NDVI использовались 8 (ближний ИК, NIR) и 4 (красный, RED) каналы, имеющие пространственное разрешение 100 м 2 на пикселя. Первичная обработка и классификация изображения проводились в ScanexImageProcessor. Для последующего пространственного анализа использовалась свободная географическая информационная система QGIS.

Сравнивая показатели вегетативной активности за один и тот же сезон исследуемого ЗНОП, можно сделать условный вывод о морфофизиологическом состоянии растений.

Используя фотосинтетическую активность биомассы зеленой зоны ЗНОП в качестве такого

маркера с использованием ГИС технологии можно оценить состояние атмосферного района исследования.

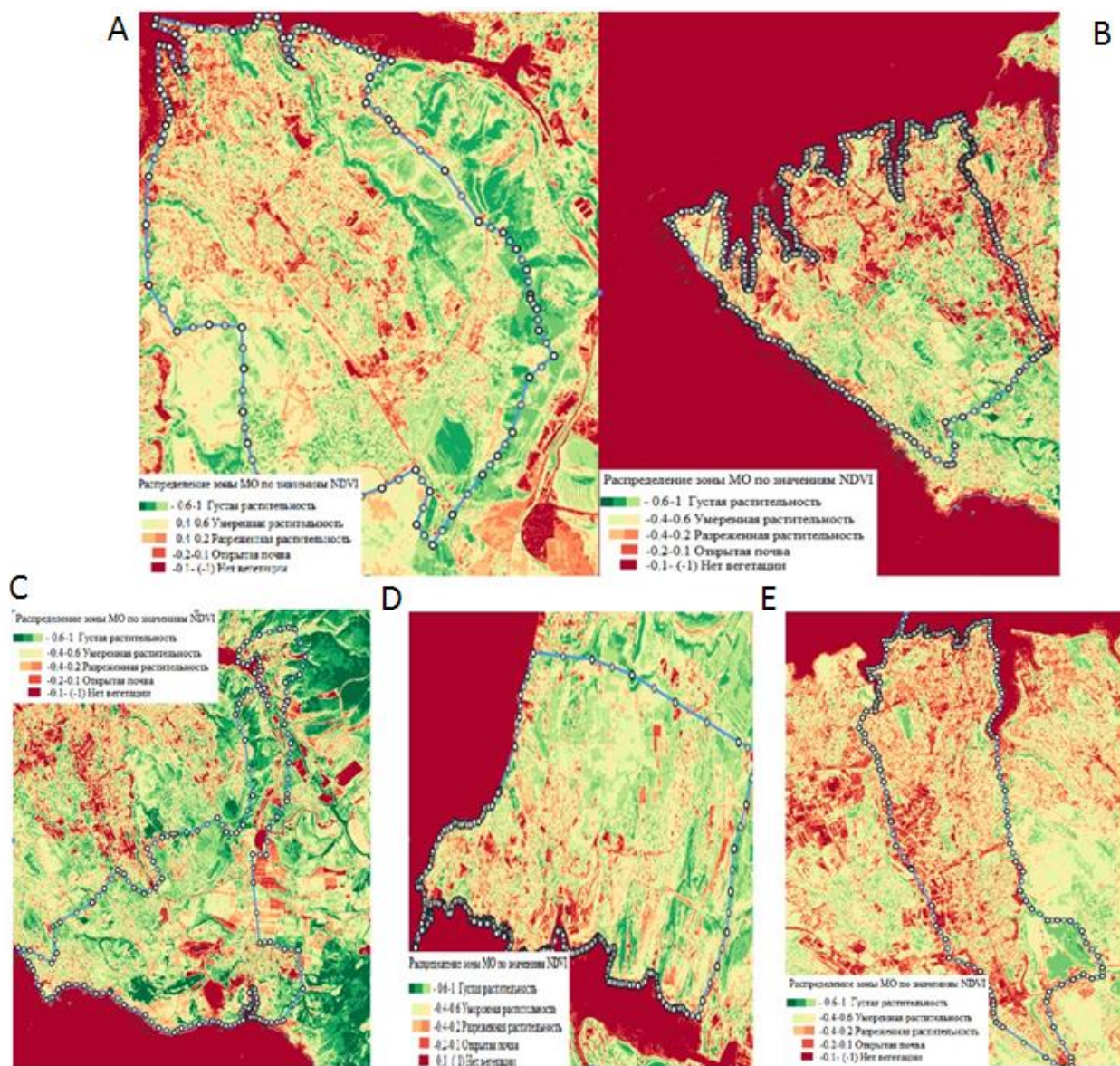


Рис.4. Распределения территории МО г. Севастополя на зоны в соответствии со значениями NDVI

Проведенные анализы показывали, что на территории города Севастополя, наиболее загрязненным районом является Ленинский МО, территория Гагаринского и Нахимовского МО, можно отнести к средне загрязненным, и наиболее чистым является территория Балаклавского МО.

Заключение

Растительность, как неотъемлемая часть городских

Город, как урбанизированная среда является неотъемлемой частью целостной экосистемы, которая состоит, как из фрагментов природной среды, которая изменена в процессе антропогенного воздействия, так и искусственных компонентов техносферы, созданной напрямую руками человека. Все компоненты такой среды тесно взаимосвязаны друг с другом. Функционирование каждой их них в отдельности, и всего города в целом зависит от состояния каждой из компонентов. Наиболее чувствительным ком-

понентов является зеленая зона города, что приводит к объективной необходимости постоянно ведущегося контроля ее текущего состояния и

прогнозирования развития дальнейшей экологической ситуации, сложившейся в урбано-среде.

А) Распределения вегетативной активности в Гагаринском МО
за 2018 по 2020 год



Б) Распределения вегетативной активности в Ленинском МО
за 2018 по 2020 год



В) Распределения вегетативной активности в северной части Нахимовского МО
за 2018 по 2020 год



Рис.5. Графики распределения вегетативной активности в МО г. Севастополя за 2018 по 2020 год

Сравнивая результаты оценки атмосферного воздуха различными методами исследования мы получили следующие результаты:

- основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются автотранспорт, предприятия теплоэнергетического комплекса и предприятия ГУП «Благоустройство г. Севастополя». По статистическим данным было выявлено, что на период исследования с 2018 по 2020 год в атмосферном воздухе г. Севастополя превышение ПДК зафиксировано только по взвешенным веществам, по остальным показателям превышении нормативных показателей не было;
- наиболее удобным для оценки состояния ЗНОП, с использованием ГИС технологий, является применения данных дистанционного зондирования земли, и расчета фотосинтетической активности биомассы NDVI. Из распределения территории Гагаринского, Ленинского, Нахимовского, Балаклавского МО по значениям NDVI можно сказать, что к зонам с наиболее густой растительностью относят Гагаринский МО (2.86%), к участкам с разреженной растительностью так же Гагаринский МО - 49.5%, остальные МО в целом можно отнести к зонам с умеренной растительностью;
- результаты расчета вегетативной активности показали высокие значения в Балаклавском районе, средние значения по Нахимовскому и Гагаринскому МО и достаточно низкие по Ленинскому району. Вероятней всего это связано с реконструкцией скверов на период 2019, 2020 г.;
- атмосферный воздух на территории ЗНОП Ленинского района по результатам исследований с помощью ГИС технологий является наиболее загрязненным, что подтверждается высоким уровнем антропогенной нагрузки (в период исследования в 2019 году проводился интенсивный ремонт и вырубка дендроформ);
- скверы ЗНОП Гагаринского МО находятся в угнетенном состоянии за счет передвижных источников воздействия, однако большие территории и молодой возраст деревьев позволяет говорить о высокой стрессоустойчивости, приводящий к достаточно высокой вегетативной активности. ЗНОП Нахимовского района находится в удовлетворительном состоянии. Данные зоны оказались наиболее устойчивыми, однако необходимо

проводить регулярную санитарную обработку зеленых насаждений ЗНОП;

- для проведения более детального анализа состояния ОС, позволяющие получить достоверный результат для разработки мероприятий, направленных на управление ЗНОП г. Севастополя необходимо большее количество параметров биоиндикации.

Список литературы

1. Косовская М.А., Лямина Н.В., Хренова Т.К., Каширина Е.С. Оценка состояния атмосферного воздуха при магистральных территориях г.Севастополя Энергетические установки и технологии. 2020. Т. 6. № 1. С. 159-164
2. В.В. Владимиров – Урбоэкология / В.В. Владимиров – М: DJVUM: МНЭПУ – 1999 год – 204 с
3. Рубцов Л. И., Лаптев А. А. Справочник по зеленому строительству. – К.: Будівельник, 1968.- 280 с.
4. Лунц Л.Б. Городское зеленое строительство. Изд. 2-е, доп. и перераб. – М., Стройиздат – 1974, 275 с.
5. Ахмадиев Г. М., Фатыхов К. З. – Научные основы и принципы оценки и прогнозирования экологической безопасности на урбанизированных территориях республики Татарстан – Набережные Челны: Бюллетень науки и практики – научный журнал – 2017 г. - №7
6. Е.В. Горяева, А.П. Мохирев, Инвентаризация зеленых насаждений с использованием ГИС-технологий на прибрежной территории Лесосибирска - ISSN 0536 – 1036. ИВУЗ. «Лесной журнал» - 2015. № 2 – 80-89 стр.
7. Блохин Д.Ю. Гис-технологии в лесном хозяйстве и лесной промышленности // VII Междунар. науч.-техн. конф. «Лес-2006». Режим доступа: <http://science-bsea.bgita.ru/>
8. Авхадиева, А. А. Использование ГИС-технологий в экологическом картографировании / А. А. Авхадиева. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2019. — № 31 (269). — С. 27-28
9. Голубева Е.И., Каширина Е.С., Новиков А.А., Новикова А.М. Оценка состояния зеленых насаждений Севастополя с использованием ГИС-технологий - "РИБЕСТ" Севастополь – 2017 г. – 43-45 стр.
10. Косовская М.А., Бибикина В.В., Хренова Т.К., Анализ активности пероксидазы и каталазы древесных насаждений при разной антропогенной нагрузке в г. Севастополе – Севастополь: СевГУ – 2017 г. – 47-49 с.
11. Kosovskaya M.A., Litvakova E. D. Possibility of using morphophysiological indicators of wood plants in bioindication of urban environment pollution – Baku Azerbaijan: NDAHLS – 2017 – P. 270.
12. Ежегодный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города Севастополя за 2020 год

13. Косовская М.А., Лямина Н.В., Александрова С.С., Шинкоренко А.А., Якименко Е.Ю. Анализ состояния атмосферного воздуха основных магистралей г.Севастополя В сборнике: Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность - 2019. Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. Под редакцией Л.И. Лукиной, Н.В. Ляминой. 2019. С. 834-839.
14. Косовская М.А., Шман С.С., Шинкаренко А.А., Костылев С.С., Раджабов В.Н., Семенова Е.С., Хренова Т.К. Анализ качества окружающей среды урбанизированных территорий в условиях автотранспортного загрязнения В сборнике: Морские исследования и рациональное природопользование. Материалы молодежной научной конференции. 2018. С. 295-297.
- in bioindication of urban environment pollution - Baku Azerbaijan: NDAHLS - 2017 - P. 270.
12. Annual report on the state and protection of the environment of the city of Sevastopol for 2018-2020
13. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Aleksandrova S.S., Shinkorenko A.A., Yakimenko E.Yu. Analysis of the state of atmospheric air on the main highways of the city of Sevastopol In the collection: Environmental, industrial and energy security - 2019. Collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference. Edited by L.I. Lukina, N.V. Lyamina. 2019. P. 834-839.
14. Kosovskaya M.A., Shman S.S., Shinkarenko A.A., Kostylev S.S., Radzhabov V.N., Semenova E.S., Khrenova T.K. Analysis of the quality of the environment of urbanized areas under conditions of motor transport pollution In the collection: Marine research and rational environmental management. Materials of youth scientific conference. 2018. P. 295-297

References

1. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Khrenova T.K., Kashirina E.S. Assessment of the state of atmospheric air in the main areas of the city of Sevastopol Power plants and technologies. 2020. V. 6. No. 1. p. 159-164
2. V.V. Vladimirov - Urboecology / V.V. Vladimirov - M: DJVUM: MNEPU - 1999 - 204 p
3. Rubtsov L. I., Laptev A. A. Handbook of green building. - K.: Budivelnik, 1968. - 280 p.
4. Lunts L.B. Urban green building. Ed. 2nd, add. and reworked. - M., Stroyizdat - 1974, 275 p.
5. Akhmadiev G. M., Fatykhov K. Z. - Scientific foundations and principles for assessing and forecasting environmental safety in the urbanized territories of the Republic of Tatarstan - Naberezhnye Chelny: Bulletin of science and practice - scientific journal - 2017 - No. 7
6. E.V. Goryaeva, A.P. Mokhirev, Inventory of green spaces using GIS technologies at the pier of the city of Lesosibirsk - ISSN 0536 - 1036. IVUZ. "Forest Journal" - 2015. No. 2 - pp. 80-89
7. Blokhin D.Yu. GIS-technologies in forestry and forest industry // VII Intern. sci.-tech. conf. "Forest-2006". Access mode: <http://science-bsea.bgita.ru/>
8. Avkhadieva, A. A. The use of GIS technologies in environmental mapping / A. A. Avkhadieva. — Text: direct // Young scientist. - 2019. - No. 31 (269). — P. 27-28
9. Golubeva E.I., Kashirina E.S., Novikov A.A., Novikova A.M. Assessment of the state of green spaces in Sevastopol using GIS technologies - "RI-BEST" Sevastopol - 2017 - pp. 43-45
10. Kosovskaya M.A., Bibikova V.V., Khrenova T.K., Analysis of the activity of peroxidase and catalase in tree plantations under different anthropogenic load in the city of Sevastopol - Sevastopol: SevGU - 2017 - 47-49 p.
11. Kosovskaya M.A., Litvakova E. D. Possibility of using morphophysiological indicators of wood plants

УДК 551.521.9

Анализ радиационной обстановки территории фгаоу во «севастопольский государственный университет»

А.А. Якушина, М.А. Фролова

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33,
г. Севастополь, 299053, Россия.

¹ms.killjoys@mail.ru, ²frolova-85@mail.ru,

Статья поступила 26.05.2022 г.; после доработки 30.05.2022 г.

Аннотация

В виду наличия в структуре ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» (далее – Университет) объектов использования атомной энергии проведение радиационного контроля – обязательный аспект организации радиационной безопасности. В статье проведен анализ радиационной обстановки территории мест расположения ядерных установок.

Ключевые слова: ядерная энергия, ионизирующее излучение, радиационный контроль, центр экспериментальных стендов, исследовательский реактор.

Analysis of the radiation situation at the territory of the sevastopol state university

A.A. Yakushina, M.A. Frolova

FAEI HE «Sevastopol State University», 33 Universitetskaya st.,
Sevastopol, 299053, Russia.

¹ms.killjoys@mail.ru, ²frolova-85@mail.ru,

Received 26.05.2022 y.; received in final form 30.05.2022 y.

Abstract

In view of the presence of facilities for the use of atomic energy in the structure of the Sevastopol State University, radiation monitoring is an obligatory aspect of the organization of radiation safety. The article analyzes the radiation situation of the territory of the locations of nuclear installations.

Keywords: nuclear energy, ionizing radiation, radiation control, experimental stand center, research reactor.

Введение

С открытием ядерной энергии возникла необходимость решения такой проблемы, как защита от ионизирующего излучения (далее – ИИ). Появление источников ИИ и установок, использующих радиоактивные вещества, привело к необходимости организации определенной системы управления состоянием радиационной безопасности – радиоэкологическому мониторингу. Важной составляющей радиоэкологического монито-

ринга является контроль радиационной обстановки на объектах использования атомной энергии. Главная задача радиационного контроля (далее – РК) заключается в получении информации об индивидуальных и коллективных дозах облучения людей, а также показателей, характеризующих радиационную обстановку.

Цель работы

Целью данной работы является оценка

радиационной обстановки местности расположения объектов использования атомной энергии СевГУ.

Ядерные установки Университета

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет» включает следующие подразделения:

- Центр экспериментальных стендов;
- Исследовательский реактор ИР-100.

Центр экспериментальных стендов включает в себя две исследовательские ядерные установки – критический ядерный стенд «Стенд физический» и подкритический ядерный стенд.

Приоритетным направлением деятельности Центра является безусловное обеспечение ядерной и радиационной безопасности, которое заключается в поддержании технических параметров исследовательских ядерных установок и систем в пределах, определяемых нормами, правилами и стандартами по ядерной и радиационной безопасности.

Исследовательский реактор ИР-100 – это ядерный реактор, изначально предназначенный для научных разработок и исследований, подготовки высококвалифицированных кадров, для получения и использования ионизирующего излучения и нейтронов в исследовательских и других научных целях, для чего на нем могут применяться различного рода экспериментальные устройства.

Экспериментальные стенды и исследовательский реактор являются объектами использования атомной энергии, и, как любой радиационно-опасный объект, требуют к себе особого внимания, в том числе и с точки зрения воздействия на окружающую среду, население и персонал. Поэтому одним из приоритетных направлений деятельности в части обеспечения безопасности объектов является проведение радиационного контроля.

Радиационный контроль на данных исследовательских ядерных установках является неотъемлемой частью системы радиационной безопасности.

Программа радиационного контроля отображает его объем, характер, периодичность, а также учет и порядок регистрации результатов контроля по двум направлениям:

- контроль радиационной обстановки;
- контроль облучения персонала.

Контроль радиационной обстановки места расположения объектов использования атомной энергии

Контроль радиационной обстановки является неотъемлемой частью эксплуатации радиационных объектов и регламентируется федеральным законодательством [1,2,3], ведомственными, методическими [4,5,6,7] и инструктивными [8] документами. Его основные аспекты отражены в программе радиационного контроля, которая разрабатывается на основании упомянутой нормативно-правовой базы.

Программа радиационного контроля исследовательского ядерного реактора ИР-100 (далее – Программа) устанавливает порядок проведения радиационного контроля на объектах, входящих в комплекс ИР-100. РК осуществляется за всеми источниками ИИ и проводится персоналом службы радиационной безопасности ИР-100. Программа определяет виды, объем, характер, периодичность, а также учет и порядок регистрации результатов измерений по различным направлениям.

Так как Университет является эксплуатирующей организацией трех объектов использования атомной энергии, два из которых объединены структурным подразделением, а два находятся на одной площадке, то при проведении радиационного контроля стоит руководствоваться программой радиационного контроля ИР-100 [9] и программой радиационного контроля подкритического ядерного стенда [10]. Этими программами руководствовались при проведении контроля и оценки состояния территории ОИАЭ Университета.

При проведении исследования измерялась мощность амбиентного эквивалента дозы (далее – МЭД) гамма-излучения, которое представляет собой электромагнитное излучение высокой энергии, обладающее наибольшей проникающей способностью. Замеры выполнялись на высоте 1 метра от поверхности земли и 3-10 сантиметров от поверхности исследуемого объекта. Измерение МЭД гамма-излучения на территории объекта проводились по сетке, с соответствующим шагом в зависимости от площади объекта. При замерах шаг должен быть равномерным, не менее 1 метра и не более 200 метров. При любых условиях, количество измерений должно охватить не менее трех точек по каждой стороне объекта и его диагоналям. В каждой из точек было снято 3 показания и посчитано среднее значение. Данные условия соблюдались для всех исследуемых объектов.

Для регистрации исследуемых значений использовался дозиметр-радиометр ДРБП-03. Данный прибор предназначен для измерения мощности амбиентного эквивалента дозы и амбиентного эквивалента дозы фотонного ионизирующего (рентгеновского и гамма) излучения, плотности потока α - и β -частиц.

Учитывая нахождение в непосредственной близости с радиационно-опасными объектами объектов инфраструктуры, таких как главный учебный корпус Института ядерной энергии и промышленности, химический корпус, студенческих общежитий, и ввиду отсутствия на данных территориях регулярного радиационного контроля, было принято решение провести замеры уровня гамма-излучения в местах расположения данных административных зданий. При этом замеры внутри самих объектов не проводились.

В целом в течение трех месяцев было снято 549 замера МЭД гамма-излучения на территориях Института ядерной энергии и промышленности,

химического корпуса, ИР-100 и студенческих общежитий, размещенных вблизи института.

Замеры на территории ИР-100 производились в соответствии с действующей программой радиационного контроля для ИР-100, которая содержит описание местонахождения контрольных точек. В результате проведения исследования, преобладающими оказались фоновые значения МЭД, то есть во всех точках, где производились замеры, значения выше фоновых не детектировались. По результатам проведенного радиационного контроля усредненным значением МЭД было принято $0,12 \text{ мкЗв/ч}$, что не выходит за пределы допустимого уровня.

Аналогично снятие замеров производилось на территориях учебных корпусов и студенческих общежитий. Полученные усредненные значения МЭД за весь период измерений нанесены на карты-схемы и представлены на рис. 1-4.

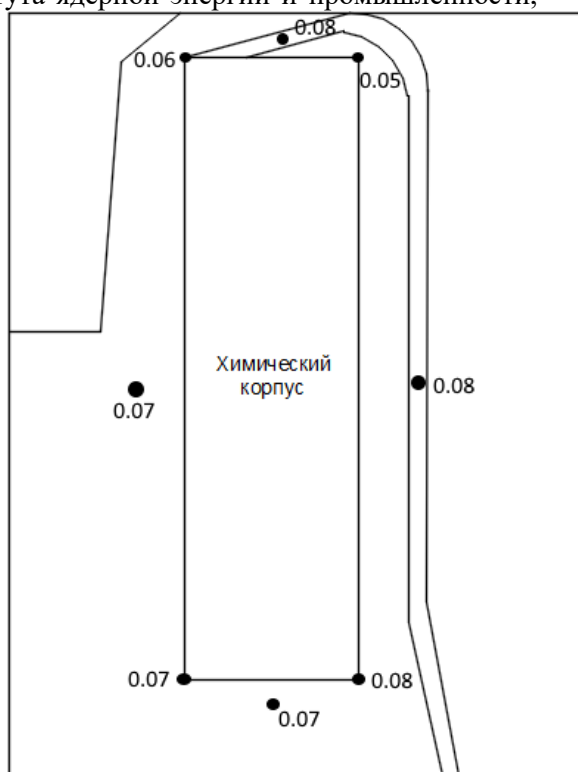


Рис. 1. Карта-схема радиационной обстановки на территории химического корпуса (в мкЗв/ч)

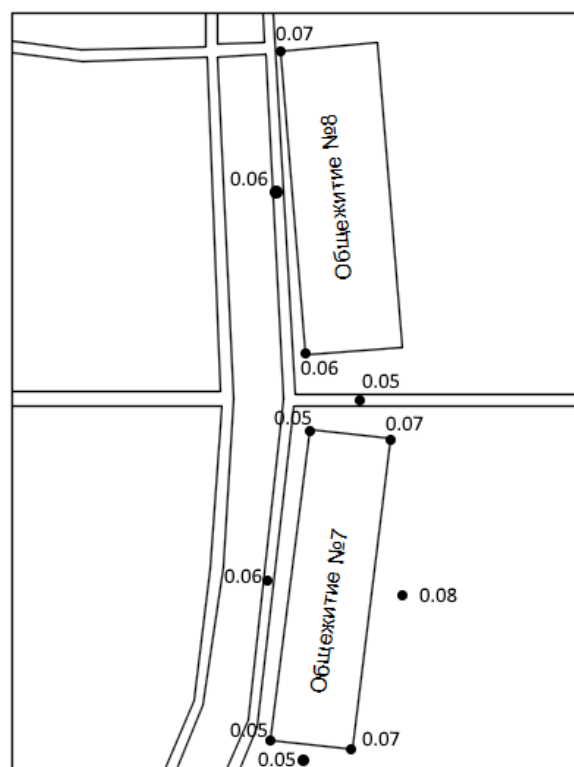


Рис. 2. Карта-схема радиационной обстановки на территории общежитий (7,8) (в мкЗв/ч)

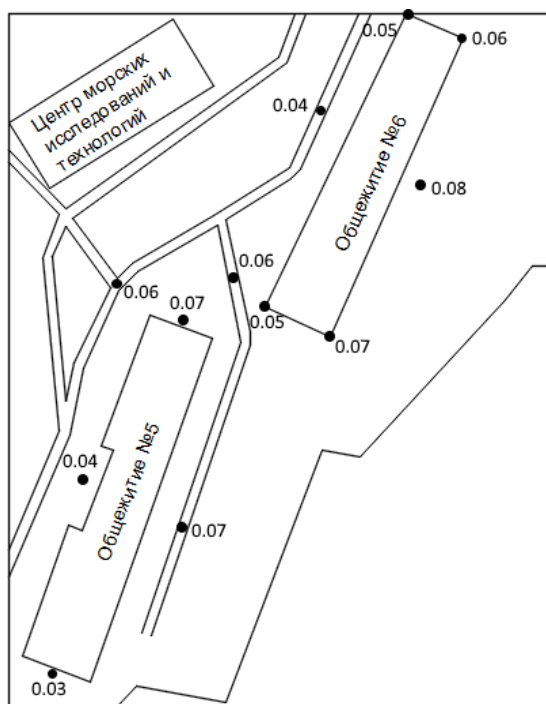


Рис. 3. Карта-схема радиационной обстановки на территории общежитий (5,6) (в мкЗв/ч)

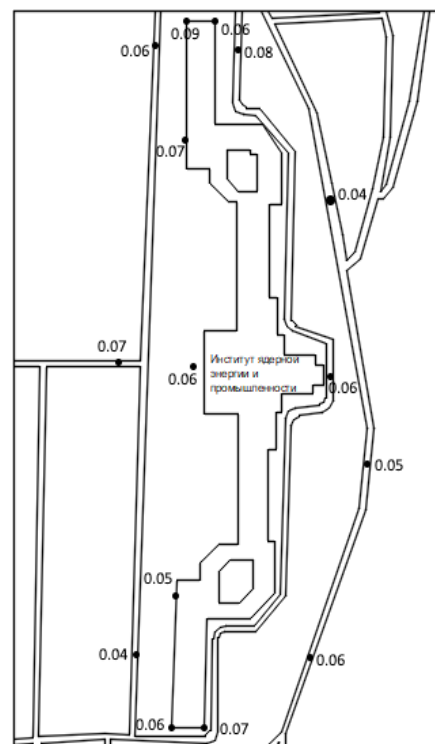


Рис. 4. Карта-схема радиационной обстановки на территории ИЯЭиП (в мкЗв/ч)

На основании проведенных исследований составлена база данных по радиационной обстановке местности (таблица 1). Как видно из таблицы, значения МЭД не превышают контрольных уровней, установленных в эксплуатирующей организации. Усредненные значения указаны с учетом погрешности, которая в среднем составила 10,3% (при допустимом значении до 15% согласно паспорта прибора). Среди мест замеров наибольшее значение наблюдается на территории исследовательского ядерного реактора ИР-100, что естественно, так как это наиболее опасный, с точки зрения радиационной безопасности, объект.

Для сравнения, значение МЭД гамма-излучения на территории города Севастополь в среднем составляет от 0,09 мкЗв/ч до 0,13 мкЗв/ч, данные значения говорят о стабильной и благополучной радиационной обстановке.

При проведении радиационного контроля были получены усредненные значения МЭД, которые обуславливаются природным радиационным фоном.

Это говорит о том, что указанные в данной статье объекты использования атомной энергии не оказывают нагрузки на радиационное состояние исследуемых территорий.

Таблица 1. Усредненные значения мощности дозы гамма-излучения на территории поселка Голландия

Территория проведения радиационного контроля	Усредненные значения мощности эквивалента дозы, мкЗв/ч	Контрольные уровни, мкЗв/ч
Институт ядерной энергии и промышленности	0,06	0,2
Химический корпус	0,07	0,2
Общежития 7 и 8	0,06	0,2
Общежития 5 и 6	0,06	0,2
Исследовательский реактор ИР-100	0,12	0,2

Выводы

Как любые другие объекты использования атомной энергии, ядерные объекты ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» требуют к себе особого контроля, включая контроль радиационной обстановки. Существующая нормативно-правовая база, а также нали-

чие локальной нормативной документации позволяют выполнять работы по ведению радиационного контроля на ОИАЭ СевГУ

Количество измерений за весь период проведения исследования составляет 549 замеров. Для наглядности были составлены карты-схемы и база данных. Таким образом, анализ полученных результатов показал, что радиационная обстановка на всех исследуемых объектах благоприятна и обусловлена природным радиационным фоном.

Список литературы

1. О радиационной безопасности: Федер. закон [принят Гос.Думой 5.12.1995]. // Собрание законодательства РФ 09.01.1996. № 3. ст. 141. С. 8-11.
2. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения: Федер. Закон [принят Гос.Думой 12.03.1999]. // Собрание законодательства РФ 30.03.1999. № 52.
3. Об использовании атомной энергии: Федер.закон[принят Гос.Думой 20.10.1995]. // Собрание законодательства РФ 21.11.1995. № 170.
4. МУ 2.6.5.008-2016. Методические указания. «Контроль радиационной обстановки. Общие требования».
5. МУ 2.6.5.026-2016 Методические указания. «Дозиметрический контроль внешнего профессионального облучения. Общие требования».
6. МУ 2.6.5.028-2016 Методические указания. «Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в условиях планируемого облучения. Общие требования».
7. МУ 2.6.5.032-2017 Методические указания. «Контроль радиоактивного загрязнения поверхностей».
8. Инструкция по измерению гамма-фона в городах и населенных пунктах (пешеходным методом) : утв. заместителем Главного гос. сан. ВрачаСС-СРот09.04.1985№3255.
9. Программа радиационного контроля исследовательского ядерного реактора ИР-100: утвержденная заместителем ректора по радиационной безопасности, физической защите, учету и контролю ядерных материалов от 28.09.2020 № 56-11/61-20.
10. Программа радиационного контроля подкритического ядерного стенда: утвержденная заместителем ректора по радиационной безопасности, физической защите, учету и контролю ядерных материалов от 20.12.2019 № 55-32/21-19.
- State Duma on 5.12.1995]. // Collection of legislation of the RF 09.01.1996. No. 3. Art. 141. pp. 8-11.
2. About the sanitary and epidemiological welfare of the population: Feder. law [adopted by the State Duma on 12.03.1999]. // Collection of Legislation of the RF 30.03.1999. No. 52.
3. About the use of atomic energy: Feder. law [adopted by the State Duma on 10/20/1995]. // Collection of legislation of the RF 21.11.1995. No. 170.
4. MI 2.6.5.008-2016. Methodical instructions. "Monitoring of the radiation situation. General requirements".
5. MI 2.6.5.026-2016. Methodical instructions. "Dosimetric control of external occupational exposure. General requirements".
6. MI 2.6.5.028-2016. Methodical instructions. "Determination of individual effective and equivalent doses and organization of control of occupational exposure in the conditions of planned exposure. General requirements".
7. MI 2.6.5.032-2017. Methodical instructions. "Control of radioactive contamination of surfaces".
8. Instructions for measuring the gamma background in cities and towns (pedestrian method) : approved by the Deputy Chief State. san. Doctor of the USSR No. 3255 dated 09.04.1985.
9. The program of radiation control of the research nuclear reactor IR-100: approved by the Deputy Rector for Radiation Safety, Physical protection, accounting and control of nuclear materials dated 28.09.2020 No. 56-11/61-20.
10. The program of radiation control of the subcritical nuclear stand: approved by the Deputy Rector for Radiation Safety, Physical protection, accounting and control of nuclear materials dated 20.12.2019 No. 55-32/21-19.

References

1. About radiation safety: Feder. law [adopted by the

ISSN 2413-5526

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
«ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ТЕХНОЛОГИИ»
Том 8 № 2**

**SCIENTIFIC MAGAZINE
«POWER PLANTS AND TECHNOLOGIES»
Vol. 8 No 2**

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 nauchnyzhurnal@mail.ru
тел. +7(8692) 71-01-64.

Редакция не несет ответственности за нарушение авторами исключительных прав на результаты интеллектуальной деятельности третьих лиц. Мнения, высказываемые авторами в публикуемых статьях, не всегда совпадают с мнением редакции. При перепечатке материалов ссылка на научный журнал «Энергетические установки и технологии» обязательна.

Научный журнал «Энергетические установки и технологии» издается в авторской редакции.

Компьютерная верстка: *Е.А. Нестерова*.

Дата выхода 15.06.2022. Изд. № 13/22. Зак. 19/22. Тираж 65 экз., Цена: бесплатно
Объем 13,5 п.л. Усл. печ. л. 12,55. Уч.-изд. л. 13,23. Формат бумаги 60 x 84 1/8

РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»