

СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

Construction and industrial safety
Scientific and Technical Journal on Construction and Architecture

№ 18(70) – 2020

Основан в 1996 году.
Выходит 4 раза в год (ежеквартально)

Учредитель:

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» (КФУ им. В.И. Вернадского), 295007, Республика Крым, г. Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовым коммуникациям (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-61830 от 18 мая 2015 г.

Включен в утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации Перечень рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук.

Индексируется в Российском индексе научного цитирования (**РИНЦ**)

Главный редактор
Федоркин Сергей Иванович, советник РААСН, д.т.н., проф.
(КФУ им.В.И. Вернадского)

Заместители главного редактора:
Любомирский Николай Владимирович, советник РААСН,
д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского)

Николенко Илья Викторович, д.т.н., проф. (КФУ
им. В.И. Вернадского)

Редакционная коллегия:
Абдулгасис У.А., д.т.н., проф. (КИПУ, Симферополь)

Бакаева Н.В., советник РААСН, д.т.н., проф. (ЮЗГУ,
Курск);

Бекиров Э.А., д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,
Симферополь);

Беспалов В.И., д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону)

Ветрова Н.М., д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,
Симферополь) – руководитель раздела «Экологическая
безопасность»;

Графкина М.В., д.т.н., проф. (МГМУ, Москва);

Гузненков В.Н., д.пед.н., доц. (МГТУ им. Н.Э. Баумана,
Москва);

Дворецкий А.Т., советник РААСН, д.т.н., проф. (КФУ
им. В.И. Вернадского, Симферополь);

Зайцев О.Н., д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,
Симферополь) – руководитель раздела «Инженерное
обеспечение»;

Кукунаев В.С., советник РААСН, д.т.н., с.н.с. (КФУ им.В.И.
Вернадского, Симферополь);

Маилян Д.Р., д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону);

Нагаева З.С., советник РААСН, д.арх., проф. (КФУ
им. В.И. Вернадского, Симферополь) – руководитель раздела
«Градостроительство»

Несветаев Г.В., д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону);

Пищулина В.В., советник РААСН, д.арх., проф. (ДГТУ,
Ростов-на-Дону);

Сергейчук О.В., д.т.н., проф. (КНУСА, Киев, Украина);

Серпокрылов Н.С., д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону);

Толстой М.Ю., к.т.н., доц. (ИРНИТУ, Иркутск);

Цопа Н.В., советник РААСН, д.э.н., проф. (КФУ им. В.И.
Вернадского, Симферополь);

Чемодуров В.Т., д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,
Симферополь);

Чеботарев В.И., д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону);

Шаленный В.Т., д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,
Симферополь) – руководитель раздела «Строительство»;

Шенна С.Г., советник РААСН, д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-
на-Дону);

Щербakov В.И., д.т.н., доц. (ВГТУ, Воронеж)

СТРОИТЕЛЬСТВО

И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 18(70) – 2020

научно-технический журнал

Печатается по решению научно-технического
совета ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
(протокол № 3 от 24.09.2020)

Координатор выпуска *И.В. Николенко*

Редактор *Н.А. Степанцова*

Корректор *А.Н. Нестерова*

Верстка *Г.Р. Биленко*

Редакция Академии строительства и
архитектуры (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»

Адрес редакции: 95006, Республика Крым,
г. Симферополь, ул. Павленко, 3, корпус 2, к. 410,
e-mail: gio@napks.ru

Подписан в печать 28.09.2020.

Формат 70×108/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная.

Гарнитура Times New Roman. Усл. -печ. л. 10,35.

Тираж 100 экз.

Издатель: федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Крымский федеральный университет имени
В.И. Вернадского».

Издательство: ФГАОУ ВО «КФУ

им. В.И. Вернадского»

<http://cfuv.ru>, io_cfu@mail.ru

(3652) 60-84-98.

295007, Республика Крым, г. Симферополь, проспект
Академика Вернадского, 4, каб. 400Б

Отпечатано в типографии ФГАОУ ВО «КФУ
им. В.И. Вернадского»

295000, Республика Крым, г. Симферополь, бульвар
Ленина, 5/7

Распространяется по подписке.

Подписка по каталогу агентства «Роспечать».

Подписной индекс: 64974 (полугодовая).

Стоимость 1 экз. журнала 227,0 руб.

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 1. Градостроительство

- Михайличенко А.С., Кашина И.В., Нестерова А.Н.**
ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ СОСТАВНЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБОЛОЧЕК ИЗ УНИФИЦИРОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ 7
- Бадашев Д.В., Кашина И.В., Нестерова А.Н.**
ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРНОГО РЕШЕНИЯ РЕКРЕАЦИОННОЙ ЗОНЫ АКВАПАРКОВ 19
- Нагаева З.С., Мосякин Д.С.**
ПРОБЛЕМА ДОСУГА СОВРЕМЕННОЙ МОЛОДЕЖИ. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ 27

Раздел 2. Строительство

- Юдина А.Ф., Верстов В. В., Гайдо А. Н.**
МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ВЫБОРУ ТЕМ МАГИСТЕРСКИХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО
НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ 08.04.01 «СТРОИТЕЛЬСТВО», ПРОФИЛЮ «ТЕХНОЛОГИИ И
ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА» 35
- Любомирский Н.В., Федоркин С.И., Бахтин А.С., Бахтина Т.А.**
ИНТЕНСИВНЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
КАРБОНАТНОГО ТВЕРДЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТКОВОГО ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ 43

Раздел 3. Инженерное обеспечение

- Чебоксаров В.В., Кузнецов П.Н.**
ГИБРИДНЫЕ ВЕТРО-СОЛНЕЧНЫЕ МОРСКИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ 67
- Первов А.Г., Ширкова Т.Н.**
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ УСТАНОВОК ОБРАТНОГО ОСМОСА
ПРИ ОЧИСТКЕ ФИЛЬТРАТОВ ПОЛИГОНОВ ТБО 83
- Крысько А.А.**
ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИВОЛИНЕЙНЫХ
ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕМБРАННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПРЯМОУГОЛЬНОМ ПЛАНЕ 97
- Панченко В.А.**
ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ С КОНЦЕНТРАТОРАМИ СОЛНЕЧНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ ПАРАБОЛОИДНОГО ТИПА 107
- Федосов С.В., Федосеев В.Н., Емелин В.А.**
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС АГРЕГАТНО-ТЕПЛООВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
ТЕПЛОХОЛОДИЛЬНЫХ СИСТЕМ 123
- Абдали Л.М., Кувшинов В.В., Бекиров Э.А., Аль-Руфайи Ф.М.**
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ
СОЛНЕЧНОЙ ГЕНЕРАЦИИ И НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ 133
- Николенко И.В.**
АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИЛОВЫХ АГРЕГАТОВ НАСОСНЫХ
СТАНЦИЙ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ПО УДЕЛЬНЫМ
ПОКАЗАТЕЛЯМ 143

Раздел 4. Экологическая безопасность

Беспалов В.И., Гурова О.С., Баклакова В.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АКУСТИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ В РАМКАХ ФИЗИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА	149
Рипная М.М., Сердюк А. СНИЖЕНИЕ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ ПУТЕМ	157
Федосихин В.С., Шенцова О.М. ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА МАГНИТОГОРСКА В УСЛОВИЯХ ПОСТОЯННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ВЫБРОСОВ ИЗ ЦЕХОВ МАТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА В АТМОСФЕРУ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ	165
Список авторов	175
Руководство для авторов	177

CONTENT

Section 1. Town planning

<i>Mikhaylichenko A.S., Kashina I.V., Nesterova A.N.</i> ECONOMIC EFFECT AT APPLICATION OF COMPOSITE REINFORCED CONCRETE SHELLS FROM UNIFIED ELEMENTS	7
<i>Badashev D. V., Kashina I. V., Nesterova A. N.</i> FEATURES OF THE ARCHITECTURAL SOLUTION OF THE RECREATIONAL ZONE OF WATER PARKS	19
<i>Nagaeva Z.S., Mosyakin D. S.</i> THE PROBLEM OF LEISURE OF MODERN YOUTH. REGIONAL FEATURES	27

Section 2. Construction

<i>Yudina A.F., Verstov V.V., Gaido A.N.</i> METHODICAL APPROACHES TO THE SELECTION OF THE MASTER THESES BY SPECIALTY 08.04.01 «CONSTRUCTION», PROFILE «TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION»	35
<i>Lyubomirskiy N.V., Fedorkin S.I., Bakhtin A.S., Bakhtina T.A.</i> INTENSIVE WAYS OF PRODUCING CARBONATE CURING BUILDING MATERIALS BASED ON LIME SECONDARY RAW MATERIALS	43

Section 3. Engineering Support

<i>Cheboxarov V.V., Kuznetsov P.N.</i> HYBRID WIND-SOLAR OFFSHORE POWER PLANTS	67
<i>Pervov A.G., Shirkova T.N.</i> DETERMINATION OF THE MAIN PARAMETERS OF OPERATION OF REVERSE OSMOSIS IN THE PURIFICATION OF EFFLUENTS OF LANDFILLS	83
<i>Krysko A.A.</i> GEOMETRIC AND COMPUTER MODELING OF CURVED SURFACES OF MEMBRANE COVERS ON A RECTANGULAR PLAN	97
<i>Panchenko V.A.</i> PHOTOVOLTAIC THERMAL MODULE WITH CONCENTRATORS OF THE SOLAR RADIATION OF A PARABOLOID TYPE	107
<i>Fedosov S. V., Fedoseev V. N., Emelin V. A.</i> THE THERMODYNAMIC PROCESS OF AGGREGATE-THERMAL CONVERSION TEPLOPOTERJAH SYSTEMS	123
<i>Abdali L.M., Kuvshinov V.V., Bekirov E.A., Al-Rufaae F.M</i> DEVELOPMENT OF THE SIMULATION AND CONTROL SYSTEM FOR AN INTEGRATED SOLAR ENERGY GENERATION AND STORAGE	133
<i>Nikolenko I.V.</i> ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY OF POWER UNITS PUMPING STATIONS WATER SUPPLY AND SANITATION SYSTEMS BY SPECIFIC INDICATORS	143

Section 4. Environmental safety

<i>Bespalov V.I., Gurova O.S., Baklakova V.V.</i> RESEARCH OF THE PROCESS OF ACOUSTIC AIR POLLUTION AT THE ENTERPRISE OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY WITHIN THE PHYSICAL-ENERGY APPROACH	149
<i>Ripnaya M.M., Serdyuk A.</i> REDUCING HAZARDOUS EMISSIONS DURING THE ELECTROCHEMICAL RECYCLING OF AUTOMOTIVE BATTERIES	157
<i>Fedosikhin V.S., Shentsova O.M.</i> FEATURES OF URBAN DEVELOPMENT IN MAGNITOGORSK UNDER CONDITIONS OF CONTINUOUS IMPACT OF MAN-GENERAL DISCHARGES FROM THE WORKSHOPS OF MATALLURGICAL COMBINE INTO THE URBAN ATMOSPHERE	165
<i>List of authors</i>	175
<i>Authors Guide</i>	177

УДК 711.4

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ СОСТАВНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБОЛОЧЕК ИЗ УНИФИЦИРОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Михайличенко А.С.¹, Кашина И.В.¹, Нестерова А.Н.²

¹Донской государственный технический университет, 344000: г. Ростов-на-Дону, ул.Социалистическая 162, nastya-rd@mail.ru

²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, Центральный федеральный округ, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26, Lisa.858@yandex.ru

Аннотация. В статье ставится задача рассмотреть пространственные составные конструкции с точки зрения оптимизации их формообразования, а также экономический эффект при применении составных железобетонных оболочек из унифицированных элементов. Значительное внимание уделяется методам снижения материалоемкости и улучшения технико-экономических показателей. После проведения исследования и сопоставления результатов были выведены основные показатели, отвечающие на необходимые требования.

Предмет исследования: пространственные составные конструкции, составные железобетонные оболочки из унифицированных элементов, универсальный спортивный зал «Дружба», Даниловский крытый рынок.

Материалы и методы: при проведении данного исследования были изучены литературные и научные источники; осуществлен подбор и анализ теоретических трудов и практических примеров, разработанных отечественными и зарубежными авторами. При анализе полученных данных использованы методы анализа, аналогии, синтеза, дедукции.

Результаты: в результате исследования было выявлено, что составная железобетонная оболочка экономичнее оболочки, очерченной по единой поверхности, особенно по расходу бетона.

Выводы: на основании исследования выявлено, что рациональные типы пространственных составных конструкций многоугольным планом экономичнее плоскостных конструкций, а также оболочек, очерченных по единой поверхности. Данная работа может быть интересна для обучающихся и профессорско-преподавательского состава по специальности 08.03.01 «Промышленное и гражданское строительство».

Ключевые слова: оболочки, кривизна гауссова, конструкции железобетонные пространственные, контур, плиты, технико-экономические показатели.

ВВЕДЕНИЕ

Составные оболочки широко применяются в мировой строительной практике. Оболочки, складки и висячие покрытия являются эффективными пространственными конструкциями. Их различные варианты можно рассматривать с позиции оптимизации их формообразования. Для того, чтобы достичь выразительности сооружения, повысить технологичность возведения и снизить материалоемкость конструкций, применяют такой метод конструктивных форм, что позволяет обогатить средства архитектурного проектирования.

Основной областью применения составных оболочек следует считать здания пролетами более 36...42м, когда конструкции традиционных оболочек с увеличением пролета должны существенно усложняться (применение предварительного напряжения, необходимость перехода на металл при конструировании контурных ферм и т.д.); при малых пролетах до 18 м составные оболочки образуются сочетаниями отдельных унифицированных плит, а каждая плита,

в свою очередь, может рассматриваться как оболочка. Поэтому такие конструктивные формы также могут быть эффективны.

Целесообразность применения сборных железобетонных пространственных конструкций в каждом отдельном случае устанавливается с учетом функциональных и градостроительных требований, условий технико-экономической эффективности, технологичности изготовления конструкций и возведения зданий.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Составные пространственные покрытия образуют путем комбинирования отдельных фрагментов геометрических поверхностей.

Таковыми покрытиями перекрывают здания больших пролетов с различной формой плана. Здания с такими конструкциями могут быть торгового, транспортного, спортивного, зрелищного, а также производственного назначения. В основных случаях функциональный процесс таков, что назначения центральной части и помещений, располагаемых по периметру, различны. Например, в зданиях спортивного или зрелищного назначения в центральной части

располагаются арена, эстрада, где проводятся выступления или соревнования, а также места для зрителей, а по периметру – вспомогательные помещения (фойе, буфеты, гардеробы). В крытых рынках центральную часть обычно занимает главный торговый зал, к которому пристраиваются магазины, административные помещения, навесы для летней торговли и т.д. Такую же объемно-планировочную структуру могут иметь крытый гараж-стоянка, лабораторный корпус с залом для испытаний, промышленные сооружения с циклическим технологическим процессом. [3]

По конструктивным особенностям составные оболочки с жесткими элементами делятся на две

группы (рис.1): составные оболочки с центральным элементом в виде положительной гауссовой кривизны (рис.1, ж); составные оболочки с каркасом, занимающим в покрытии центрально-радиальное положение (рис.1, з). К составным оболочкам можно также отнести и многоволновые неразрезные оболочки, в которых в местах пересечения жестких элементов – диафрагм располагаются колонны (рис.1, и). К первой группе можно отнести купольно-складчатые покрытия и составные оболочки с квадратным и треугольным планом, в том числе оболочки разнозначной кривизны; ко второй – полигональные оболочки с циклическим и вытянутым планами. [3]

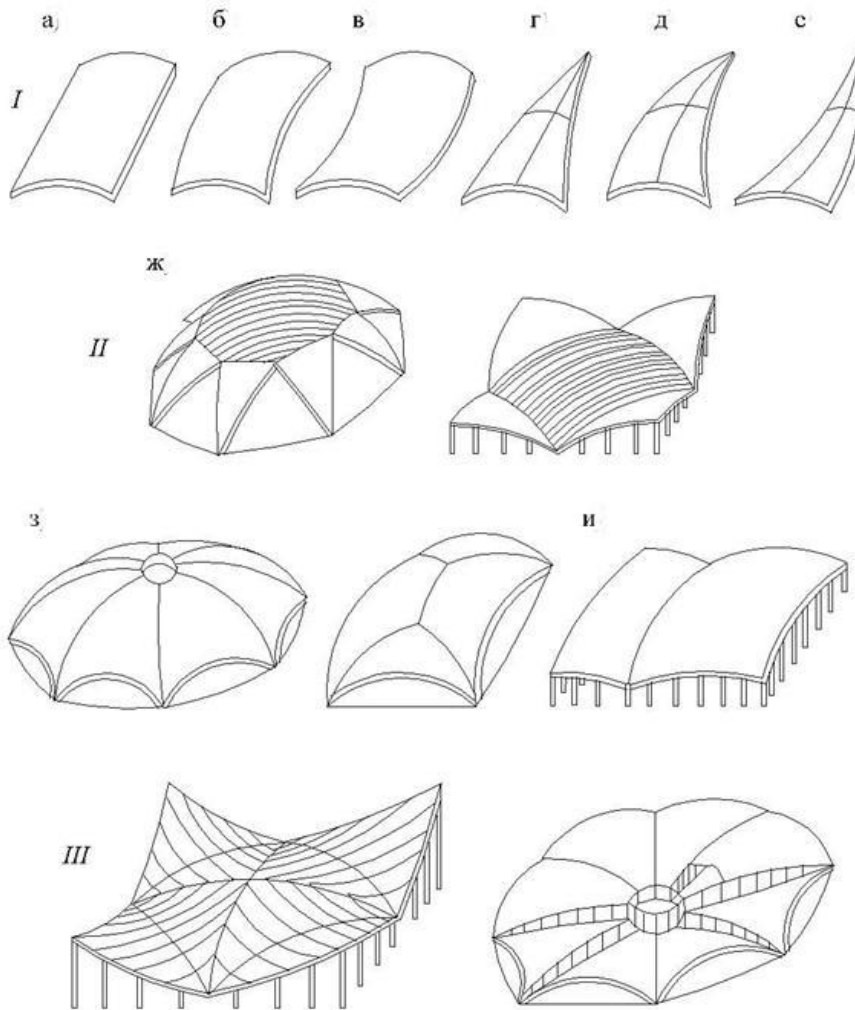


Рис. 1. Составные оболочки с жесткими элементами: I – составляющие оболочки; II – составные оболочки купольного типа; III – составные висячие оболочки; а, з – нулевой; б, д – положительной; в, е – отрицательной гауссовой кривизны; ж – с жестким центральным элементом в виде оболочки положительной гауссовой кривизны; з – с жесткими элементами в виде каркаса; и – неразрезные многоволновые

Fig. 1. Composite shells with rigid elements: I - component shells; II - composite dome-type shells; III - composite hanging shells; а, з - zero; б, д - positive; в, е - negative Gaussian curvature; ж - with a rigid Central element in the form of a shell of positive Gaussian curvature; з - with rigid elements in the form of a frame; и - continuous multi-wave

По очертанию срединной поверхности различают: составные оболочки в виде сочетания оболочек положительной гауссовой кривизны; то же, оболочек отрицательной гауссовой кривизны; то

же, оболочек разнозначной кривизны (положительной и отрицательной гауссовой кривизны); то же, оболочек нулевой гауссовой кривизны.

По используемым материалам оболочки могут быть: железобетонные, комбинированные, состоящие из железобетонные плит и стальных арок или ригелей.

Составные оболочки могут быть как сборные, так и монолитные. В соответствии с практикой строительства этих конструкций в нашей стране

применяют составные оболочки только сборные, собираемые из унифицированных элементов.

Наряду с оболочками с жесткими элементами рассматриваются также составные висячие оболочки (см. рис.1, III). [3]

Рекомендуемые типы оболочек и их пролеты приведены на рис.2.

Типы оболочек		Размеры пролетов, м					
		24	36	42	до 60	до 100	100...150
Отдельно стоящие или составляющие оболочки	отдельно стоящие и составляющие положительной гауссовой кривизны					—	—
	составляющие отрицательной или нулевой гауссовой кривизны			—	—	—	—
	купольные					—	—
	с квадратным и треугольным планом					—	—
Составные оболочки	с вытянутым планом						
	купольно-складчатые						
	полигональные с циклическим планом (в том числе висячие)						

Рис. 2. Рекомендуемые типы и пролеты оболочек

Fig. 2. Recommended shell types and spans

Применение в общественных зданиях. Применение составных оболочек целесообразно для общественных зданий, сооружений торговых, общественного питания, транспортного назначения, спортивных, зрелищных, в том числе: крупных торговых центров, крытых рынков, универсамов, универмагов, специализированных и фирменных магазинов промышленных министерств, совхозов и колхозов, баз и складов для хранения промышленных товаров и сельскохозяйственной продукции, ресторанов, крупных столовых, автобусных и троллейбусных парков, вокзалов, спортзалов учебных заведений и городского назначения, кинотеатров, конференц-залов, выставочных павильонов. Оболочки могут применяться также для залов лабораторных корпусов научно-исследовательских институтов, например, предназначенных для испытаний.

Применение в производственных зданиях. Для покрытий зданий производственного назначения рекомендуются оболочки положительной кривизны, очерченные по единой исходной поверхности, или составные многоволновые в зависимости от размеров здания в плане и размеров используемых элементарных оболочек. Применение таких оболочек, как правило,

экономически обосновано для зданий с пролетами 24...36 м и продольным шагом колонн 18...24 м, без кранов и с подвесным подъемно-транспортным оборудованием грузоподъемностью до 5 т, а также с опорными кранами грузоподъемностью до 50 т включительно, если указанные шаги колонн диктуются условиями размещения технологического оборудования. [3] В зданиях с опорными кранами, когда продольный шаг колонн не обусловлен технологией размещаемого производства, оболочки могут быть экономически оправданы, если переход к укрупненному шагу колонн (более 12 м) обеспечивает существенное улучшение использования производственной площади здания.

При пролетах более 36 м оболочки рекомендуются для зданий без опорных кранов, если они экономически целесообразны и не требуют больших эксплуатационных расходов. С учетом приведенных выше рекомендаций оболочки выгодно применять для предприятий машиностроения, электротехнической, текстильной, легкой, пищевой, радиоэлектронной промышленности, предприятий по выпуску радиотехнических изделий, гаражей, складских зданий и сооружений.

Составляющие оболочки составных пространственных покрытий расчленяют на сборные унифицированные плиты с цилиндрической поверхностью. Номенклатура изделий составных оболочек включает в себя основные плиты, доборные плиты и контурные ригели. Для компоновки оболочек принят укрупненный производственный модуль 3x6 м.

Использование эффективных составных конструкций позволяет решать сложные задачи проектирования общественных и производственных зданий, удовлетворяя условиям экономичности и повышения архитектурного качества городской застройки. Существенно то, что при компоновке составных оболочек, складок, комбинированных систем используются методы конструирования отдельно стоящих, очерченных по единой поверхности оболочек, поскольку последние являются их составляющими элементами. Без широкого опыта строительства отдельно стоящих, очерченных по единой поверхности оболочек было бы невозможно перейти к возведению их сочетаний, т.е. к более сложным формообразованиям. [3]

Применение пространственных составных конструкций в проектировании представляет собой реализацию возможности формообразования зданий и сооружений на современном уровне, с

внедрением последних достижений науки и техники в строительстве.

Значительно большее развитие в современной строительной технике получило применение составных покрытий в виде сочетания оболочек положительной, отрицательной и в меньшей степени нулевой гауссовой кривизны. Нерегулярность геометрической формы, вызванная функциональными, градостроительными или эстетическими требованиями, достигается в этих решениях путем сопряжения отдельных фрагментов поверхностей, геометрия каждого из которых, как правило, описывается аналитически.

В последние годы составные оболочки стали применять для зданий больших пролетов с различной формой плана.

Для зданий с вытянутой формой плана в ГДР применяют комбинированные пространственные конструкции пролетами 12, 21, 27, 30 и 36 м. Они выполнены с размещенной по продольной оси зданий аркой, имеющей разветвленные концы, к которой примыкают оболочки (рис.3,а). Подобное решение было предложено Р. Тайибером в Париже для спортивного центра с ареной размерами более 61x30 м (рис.3,б). Аналогичная конструктивная схема (рис.3,в) была предложена в СССР ранее

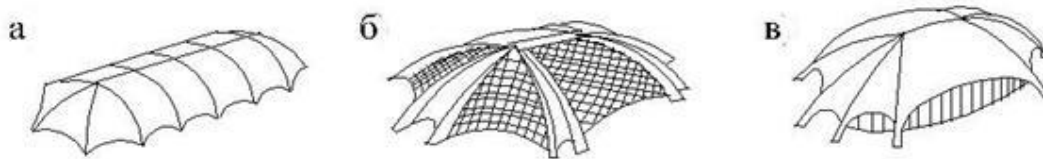


Рис. 3. Оболочки с вытянутой формой плана

Fig. 3. Shells with an elongated plan shape

Примерами составных оболочек для зданий с произвольной многоугольной формой плана являются составные оболочки аэровокзалов пролетом около 60 м (США) (рис.4,а). Форма плана составляющих оболочек приближается к

треугольной, в целом план нерегулярный. Покрытие оперного театра в Сиднее (рис.4,б) состоит из пересекающихся сборно-монолитных оболочек в форме трехугольных в плане фрагментов сферы с одинаковым радиусом кривизны. [3]

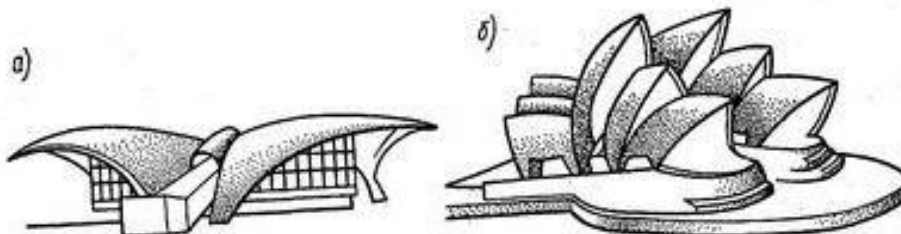


Рис. 4. Составные оболочки с многоугольным планом произвольной формы

Fig. 4. Composite shells with a polygonal plan of any shape

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Технико-экономический анализ эффективности применения составных оболочек можно выполнить

на примере построенных характерных сооружений – универсального спортивного зала «Дружба» (рис.5) и Даниловского крытого рынка (рис.6).



Рис. 5. Универсальный спортивный зал «Дружба»

Fig. 5. Universal sports hall "Druzhba"



Рис. 6. Даниловский крытый рынок

Fig. 6. Danilovsky covered market

Результаты сопоставления вариантов конструктивного решения сооружения следующие.

В качестве вариантов рассмотрены складчатый решетчатый металлический купол и сборно-монолитная предварительно напряженная железобетонная оболочка положительной

гауссовой кривизны (по типу торгового центра в Челябинске). Для сопоставимости пролеты и высоты зданий с рассмотренными вариантами приняли равными соответствующим размерам универсального спортивного зала в Лужниках.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

в табл.1, показатели конструкций пролетом 42 м – в табл.2.

Показатели расхода материалов, трудоемкость монтажа и объем сооружений вариантов приведены

Таблица 1. Техничко-экономические показатели большепролетных конструкций**Table 1.** Technical and economic indicators of large-span structures

Название сооружения	Тип покрытия	Расход на 1 м ²		Объем здания (от уровня опор покрытия) м ³	Трудоемкость монтажа, чел-ч/м ²
		бетона, см	стали, кг		
Универсальный спортивный зал «Дружба» в Лужниках (Москва)	Составная оболочка	24,0	54,6	68000	2,32
Даниловский рынок (Москва)	То же	15,2	48,0	42000	1,42
Цирк на просп. Вернадского (Москва)	Складчатый стальной купол	-	234,4	84000	3,08
Торговый центр (Челябинск)	Сборно-монолитная оболочка положительной гауссовой кривизны (предварительно напряженная)	21,0	31	97000	8,30

Таблица 2. Показатели расхода материалов на оболочки положительной гауссовой кривизны размером 42x42 м**Table 2.** Indicators of consumption of materials on the shell of positive Gaussian curvature size 42x42 m

№ п/п	Тип конструкции	Приведенная толщина бетона, см	Расход стали на 1 м ² , кг	Масса монтажной оснастки на оболочку, т
1	Оболочки положительной гауссовой кривизны из цилиндрических плит 3x6 м (МНИИТЭП)	12,7	19,5	35
2	Оболочки положительной гауссовой кривизны из плоских плит 3x3 м для крытых рынков в Москве (ПИ-1)	11,4	19,2	115
3	Типовые железобетонные плиты 3x12 м по стальным фермам (конструкция – аналог)	8,8	77,5	

Из сопоставления технико-экономических показателей следует, что в предварительно напряженном варианте показатели расхода материалов для составной оболочки типа оболочки «Дружба» близки к показателям экономичной оболочки положительной гауссовой кривизны. Несущественное увеличение расхода материалов компенсируется значительными преимуществами составной оболочки по трудоемкости монтажа

(трудозатраты почти в 4 раза меньше) и объему сооружения (примерно в 1.5 раза меньше). Сравнение подтверждает положения об экономичности составных оболочек, прежде всего по показателям объема сооружений и трудозатратам на строительной площадке, что во многих случаях является решающим.

Дальнейшее улучшение технико-экономических показателей покрытий достигнуто при разработке

составной оболочки из унифицированных плит 3x6 м, примененной для Даниловского рынка. За счет использования плит более рациональной конструкции расход бетона по сравнению с оболочкой зала «Дружба» снизился в два раза. Уменьшились также объем подкупольного пространства и трудоемкость монтажа. Трудозатраты на возведение сократились за счет более рационального выбора размеров укрупненных складок и упрощения их соединений. Близкие к оболочке зала «Дружба» показатели по трудоемкости монтажа имеет складчатый решетчатый стальной купол, но при этом расход стали на его возведение почти в четыре раза превышает показатель, приведенный для составной оболочки.

Для сопоставления в качестве аналога оболочки зала «Дружба» (рис.7) принят складчатый решетчатый купол цирка на проспекте Вернадского в Москве (рис.8,9) по следующим причинам: обе конструкции представляют собой «многолепестковые» складчатые системы, поэтому их геометрические, а в значительной мере, и расчетные схемы одинаковы; также близки пролеты, форма плана и высоты обоих зданий; оба здания зрелищного назначения с одинаковой структурой плана в виде центрального объема и трибунами по периметру; оба здания осуществлены одной строительной-монтажной организацией (трестом «Стальмонтаж»), по ним имеется полный объем сметной документации.

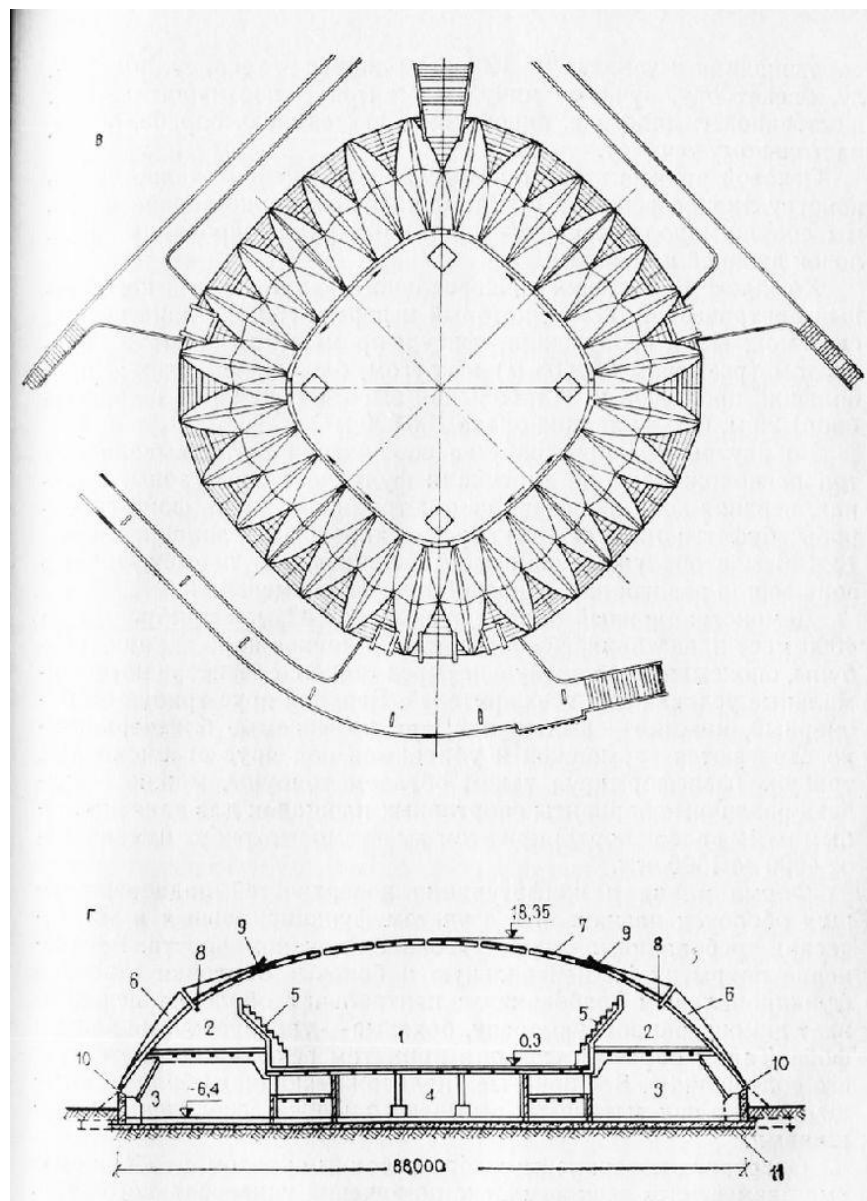


Рис. 7. Чертеж универсального спортивного зала «Дружба» в Лужниках (Москва)

Fig. 7. Drawing of the universal sports hall "Druzhba" in Luzhniki (Moscow)



Рис. 8. Цирк на проспекте Вернадского (Москва)

Fig. 8. Circus on Vernadsky Avenue (Moscow)

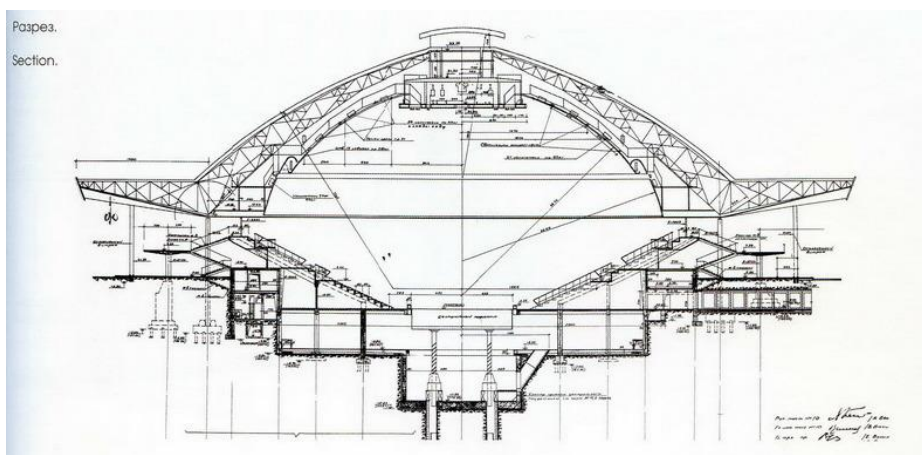


Рис. 9. Цирк на проспекте Вернадского (Москва). Разрез

Fig. 9. Circus on Vernadsky Avenue (Moscow). Cut

В соответствии с инструкцией по определению экономической эффективности в строительстве (СН 423-71) определение экономической эффективности производится по разнице годовых приведенных затрат:

$$П = C + E_n K + E_n K',$$

где $П$ – приведенные затраты; C – себестоимость строительно-монтажных работ; E_n – нормативный коэффициент экономической эффективности, принимаемый в размере 0,12; K – капитальные вложения в основные производственные фонды и вложения в оборотные средства в сфере строительства; K' – удельные капитальные

вложения в производство строительных материалов и конструкций.

Себестоимость строительно-монтажных работ включает прямые затраты и накладные расходы. Накладные расходы определены на основе расчета по основным факторам, от которых зависят: сокращение продолжительности строительства, уменьшение затрат на основную заработную плату рабочих, снижение трудоемкости работ. Накладные расходы, зависящие от основной заработной платы, составляют 15% от ее суммы. Накладные расходы, зависящие от трудоемкости, составляют 0,6 руб. на один человеко-день.

Фондоёмкость строительства определена на основании данных о машинах и механизмах,

примененных для строительно-монтажных работ, удельных нормативах машино-смен (по СНиПу), балансовой стоимости машин и годовых фондах времени работы каждой машины.

Оборотные фонды строительной организации определены раздельно по привозным и местным материалам. Норма переходного запаса для привозных материалов принята 50 дн, для местных – 21 дн.

Капитальные вложения в производство конструкций и материалов определены также в соответствии с «Инструкцией».

Технико-экономический анализ выполнен путем расчета удельных показателей и сопоставления их по вариантам. Для обеспечения уровня сопоставимости и получения объективных данных в расчетах учтены не только конструкции покрытия, но также смежные несущие конструктивные элементы здания (колонны, витражи и т.д.). Кроме того, учтены все подготовительные работы, включающие монтаж и демонтаж временных металлоконструкций, стенов для укрупнительной сборки и рельсовых путей для кранов.

В табл.3 приводятся экономические показатели П, С, К и К', входящие в выражение (1). Из сравнения этих величин получаем следующее: 1) приведенные затраты на составную оболочку зала «Дружба» равны 118,61 руб/м² площади покрытия, что на 25% меньше приведенных затрат по конструкции-аналогу; 2) себестоимость строительно-монтажных работ по составной оболочке на 23% меньше, чем себестоимость работ по аналогу; 3) капитальные вложения в основные фонды строительной организации по варианту оболочки составили 19,23 руб/м² площади покрытия, что на 122% превысило капиталовложения по конструкции-аналогу за счет применения более дорогого монтажного оборудования; 4) капитальные вложения в оборотные фонды по варианту с оболочкой на 49% меньше капиталовложений по второму варианту; 5) удельные капитальные вложения в производство конструкций материалов по варианту с оболочкой на 63% меньше, чем по конструкции-аналогу.

Таблица 3. Экономические показатели большепролетных конструкций

Table 3. Economic indicators of large-span structures

№ п/п	Показатели	Покрытие зала «Дружба»	Покрытие цирка
1	Приведенные затраты П, руб/м ²	118,61	158,12
2	Себестоимость строительно-монтажных работ С, руб/м ²	111,40	144,75
3	Капитальные вложения в основные фонда строительной организации К, руб/м ²	19,23	8,73
4	Удельные капитальные вложения в производство конструкций и материалов К', руб/м ²	33,06	90,85

Для монтажа оболочки зала «Дружба» с предварительной укрупнительной сборкой складчатых оболочек весом 80 т использовался кран СКР-1500, балансовая стоимость которого равна 445 руб/маш-смен в то время как этот же показатель для гусеничного крана СКГ-40, примененного для монтажа купола цирка, составляет 185.8 руб/маш-смен. Поэтому капитальные вложения в основные фонда в варианте с оболочкой в 2,2 раза превысили соответствующие капитальные вложения в варианте-аналоге.

Однако общий итог указывает на экономическую эффективность составной железобетонной оболочки. Годовая экономическая эффективность:

$$\mathcal{E} = (P_1 - P_2)A$$

где P_1 и P_2 – приведенные затраты по сравнительным вариантам; A – годовой объем внедрения, м².

Учитывая аналогичный тип покрытия стадиона в г. Пензе и возможность использования той же строительно-монтажной организацией монтажной оснастки оболочки зала «Дружба» в Лужниках, определенный экономический эффект по последнему сооружению распространен и на покрытие стадиона.

При общем объеме внедрения 15 000 м², общая годовая экономическая эффективность составит

$$\mathcal{E} = (111,40 - 158,42) * 15000 = 39,81 - 15000 = = 597,15 \text{ тыс. руб.}$$

Рассмотрим также экономическую эффективность составной полигональной оболочки по сравнению с оболочкой, перекрывающей тот же план, но очерченной по единой поверхности, по расходу материалов.

Для сопоставимости вариантов были приняты единые исходные условия: пролет – 16 м,

одинаковая форма плана, равные объемы сооружений, нагрузка – 1 кН/м², единый принцип членения на сборные элементы, однотипность плит, одинаковые методы монтажа. Статические расчеты выполнялись по программе «Протон» методом конечных элементов.

ВЫВОДЫ

Результаты анализа приведены в табл.4. Из сравнения данных таблицы следует, что составная оболочка экономичнее оболочки, очерченной по единой поверхности, особенно по расходу бетона.

Важно то, что экономия достигается в основном за счет значительного уменьшения расхода монолитного бетона (почти в 1,5 раза), в составной оболочке. Статический анализ показал, что существенного снижения расхода монолитного бетона, а следовательно, и трудозатрат на возведение получили в результате уменьшения зон действия главных растягивающих усилий и их величин в составной оболочке, а также большей устойчивости за счет образования линий перелома поверхностей.

Таблица 4. Показатели расхода материалов полигональных оболочек с многоугольным планом пролетом 116 м

Table 4. Indicators of consumption of materials of polygonal shells with a polygonal plan with a span of 116 m

№ п/п	Элементы	Составная оболочка		Оболочка с единой поверхностью	
		бетон, м ³	сталь, т	бетон, м ³	сталь, т
1	Плиты	840	73,9	920	75,7
2	Монолитный бетон (швы, набетонка)	269,8	14	406,1	32,8
3	Стальные арки	-	405,2	-	442
4	Затяжки	270	140,6	270,9	134,2
	Итого	1379,8	633,6	1597	684,7
	Расход материалов на 1 м ² площади покрытия (бетон в см приведенной толщины, сталь в кг)	17 см	77 кг	20 см	84,5 кг

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. М., 1985.
2. Жуковский Э.З., Шабля В.Ф. Оболочки двойной кривизны в гражданском строительстве Москвы. М., 1980.
3. Дыховичный Ю.А., Жуковский Э.З., Пространственные составные конструкции. М., 1989.
4. Демина А.В. Здания с большепролетными покрытиями. Тамбов, 2003.
5. Михайлов В.В., Сергеев М.С. Пространственные стержневые конструкции покрытий (структуры). Владимир, 2011.
6. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями № 1,2)
7. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81* (с Изменениями №1)

8. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 (с Изменениями № 1,2,3)

REFERENCES

1. Baykov V.N., Sigalov E.E. Reinforced concrete structures. M., 1985.
2. Zhukovsky EZ, Shablya V.F. Shells of double curvature in the civil engineering of Moscow. M., 1980.
3. Dykhovichny Yu.A., Zhukovsky EZ, Spatial composite structures. M., 1989.
4. Demina A.V. Buildings with large spans. Tambov, 2003.
5. Mikhailov V.V., Sergeev M.S. Spatial core structures of the coating (structure). Vladimir, 2011.
6. SP 20.13330.2016 Load and impact. Updated edition of SNiP 2.01.07-85 * (with Changes No. 1,2)
7. SP 16.13330.2011 Steel structures. Updated edition of SNiP II-23-81 * (as amended by No. 1)
8. SP 63.13330.2012 Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. Updated edition of SNiP 52-01-2003 (as amended by No. 1,2,3)

ECONOMIC EFFECT AT APPLICATION OF COMPOSITE REINFORCED CONCRETE SHELLS
FROM UNIFIED ELEMENTS

Mikhaylichenko A.S.¹, Kashina I.V.¹, Nesterova A.N.²

¹Don State Technical University (DSTU),
344000, Southern Federal District, Rostov Region, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1, nastya-rd@mail.ru

²Moscow state university of civil engineering (national research university),
129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, Lisa.858@yandex.ru

Summary. The article sets the task of considering spatial composite structures from the point of view of optimizing their shaping, as well as the economic effect when using composite reinforced concrete shells from unified elements. Considerable attention is paid to methods of reducing material consumption and improving technical and economic indicators. After conducting the study and comparing the results, the main indicators were deduced that met the necessary requirements.

Subject: spatial composite structures, composite reinforced concrete shells of unified elements, the universal sports hall "Friendship", Danilovsky Covered Market.

Materials and methods: during this study, literary and scientific sources were studied; selection and analysis of theoretical works and practical examples developed by domestic and foreign authors. When analyzing the data obtained, methods of analysis, analogy, synthesis, and deduction were used.

Results: в результате исследования было выявлено, что составная железобетонная оболочка экономичнее оболочки, очерченной по единой поверхности, особенно по расходу бетона.

Conclusions: Based on the study, it was found that rational types of spatial composite structures with a polygonal plan are more economical than plane structures, as well as shells outlined on a single surface. This work may be interesting for students and faculty in the specialty 08.03.01 "Industrial and civil construction."

Key words: shells, Gaussian curvature, spatial reinforced concrete structures, contour, slabs, technical and economic indicators.

ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРНОГО РЕШЕНИЯ РЕКРЕАЦИОННОЙ ЗОНЫ АКВАПАРКОВ

Бадашев Д.В.¹, Кашина И.В.¹, Нестерова А.Н.²¹Донской государственный технический университет, 344000: г. Ростов-на-Дону, ул.Социалистическая 162, nastya-rd@mail.ru²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, Центральный федеральный округ, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26, Lisa.858@yandex.ru

Аннотация. В данной статье рассматривается отечественный и зарубежный опыт проектирования и строительства аквацентров. Анализируются решения по благоустройству территории аквапарков. Рассматриваются оптимальные объемные и архитектурно-планировочные решения для строительства аквацентра. На основании проведенного анализа подводятся итог наиболее актуального и рационального выбора архитектурного решения аквацентра.

Предмет исследования: Рациональные архитектурные решения при проектировании аквапарков.

Материалы и методы: Исследование было проведено с помощью эмпирических (наблюдение) и теоретических (анализ и синтез) методов познания.

Результаты: Возможные варианты архитектурных решений в разных условиях строительства.

Выводы: Подведен итог наиболее рационального выбора архитектурного решения аквапарка в зависимости от современных условий потребностей общества и возможностей строительства.

Ключевые слова: Аквапарк, парк развлечений, архитектурные решения, особенности водных объектов.

ВВЕДЕНИЕ

Отдых является неотъемлемой частью в жизни общества, и как один из вариантов таких решений представляют из себя водные развлекательные сооружения, оборудованные всевозможными развлекательными зонами с аттракционами и прочими слугами. В настоящее время аквапарки могут быть усовершенствованы и оснащены автоматизированными устройствами для искусственного нагнетания волн в бассейнах, либо же для создания приближенной обстановки к естественной для занятия разными видами сёрфинга.

Большее количество аквапарков устроены по типу открытых т.е. на открытом воздухе, обычно такое решение принимается в курортных зонах городов, но несмотря на это, количество комплексов закрытых аквапарков не проигрывает открытым.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Изменения в жизни общества стали своего рода создателями новых видов и форм физкультурно-оздоровительных и досуговых занятий. Наметилось четко отслеживаемое внедрение культурных и спортивных видов деятельности с увеличением роли активного досуга. Прогресс в технической части и научной области и связанное с данным явлением изменение подхода к пониманию и исполнению труда привело к изменению подхода к отдыху.

Отдыхающие начинают отдавать приоритет активному отдыху и данный выбор способствует развитию разнообразия видов отдыха. Только в современное время обычные бассейны для плавания

уже не вызывают какого-либо удивления у посетителя. Под большой интерес попадают комплексы развлечения и отдыха, которые рассчитаны на приобщение как можно большего количества членов семьи. Такие комплексы могут оказывать своеобразными оазисами здорового образа жизни. С данным термином очень схоже по своим основным характеристикам такие комплексы отдыха и развлечений, как аквапарк. В нынешнее время по всему миру можно насчитать более тысячи комплексных сооружений именующих себя термином аквапарк. Несмотря на то, что в арсенале таких комплексных сооружений действительно многообразный и широкий диапазон выбора аква аттракционов, доступных посетителям, также располагают развитой инфраструктурой. Ввиду продвижения и укрепления такой тенденции, как нужда человека в сфере отдыха и досуга, крайне необходимо строить, либо улучшать существующие комплексы аквапарков для индивидуального, группового и семейного посещения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Индустрия мирового уровня по отдыху, сосредоточенному на водной среде, особенно в современности, развивается быстрыми темпами. В Европе аквапарки уже давно занимают позицию, как необходимая часть здоровой жизни. В России, несмотря на малое запоздание, также начинает развиваться по своему уникальная культура аквапарков. На сегодняшний день город Ростов-на-Дону, благодаря развитию аква комплексов, входит в состав крупных аквапарковых зон страны, а именно юг России. В современном мире находятся

десятки тысяч комплексных сооружений аквапарков. Принимая во внимание, что большинство таких комплексов имеет впечатляющее многообразие аттракционов, в большей части водного типа, и, несмотря на это, обладает вполне развитой инфраструктурой, все же

в списках таких комплексов почти некого отметить, как успешный проект. Печальная история о закрытии аквапарков только на старте своего написания, и во многом это происходит благодаря научному прогрессу, развитию более сложных потребностей общества.



Рис. 1. Lake Dolores Waterpark, США (закрыт в 2004 г.).

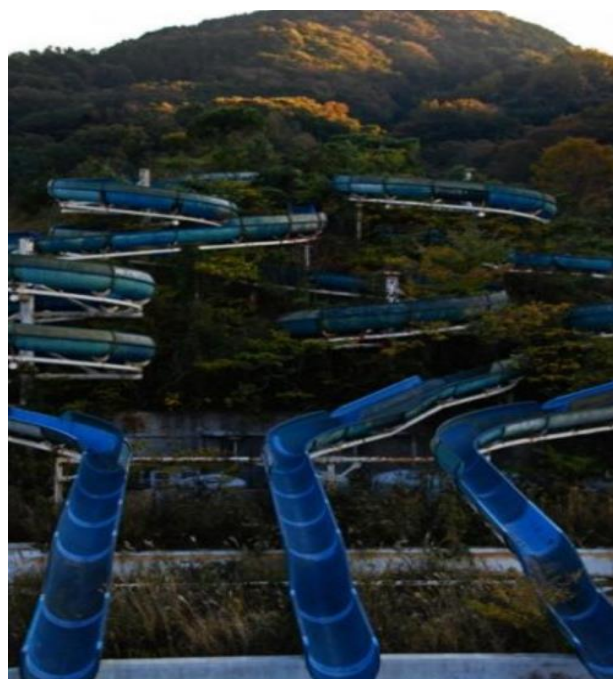


Рис. 2. Shizuoka, Япония (закрыт в 2010 г.).

Из-за сочетания разных видов активного отдыха и привлекательности видов спорта непосредственно связанных с водой – аквапарки любимы и востребованы людьми всех категорий возрастов. Отличным решением для наших климатических условий будет посещение аквапарков закрытого типа с хорошим сервисом, на фоне поездки к

естественным водоемам и базам отдыха. Ежевременное и безостановочное повышение и усложнение appetитов общественности к уровню услуг развлечения и отдыха, спрос на которые не исчезнет никогда, заинтересованность людей в приобращении аквапарка в место подобное райскому островку, лишь в очередной раз

подчеркивает актуальность научных разработок в сфере архитектурно-конструктивных решений аквапарков. Серьезной основой для развития стрессовых ситуаций у человечества, усугубляющих моральное и физическое состояние человека помимо каждодневной загруженности информацией является и любого рода политические и экономические трудности общества. Для восстановления сил люди начинают возвращаться к изначальным элементам естественного оздоровления – вода, воздух, земля, благодаря которым человек перенимает положительные и светлые эмоции.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Аквапарк – особый вид как спортивных, развлекательных, так и комплексов отдыха, где определяющей компонентой является активное времяпрепровождение досуга, который не может обойтись без сбалансированной связи визуальной и функциональной составляющей природного окружения, архитектурно специализированный как «объект в среде». Термин складывается из компонентов, определяющих уровень связи с внешним пространством и объединенный в единую согласованную систему. Таким образом, основополагающим фактором проектирования и строительства данных комплексов, в первую очередь, является соотношение внешнего образа комплекса с функциональным наполнением и наполнения окружающей природы, составляя так называемую «акцентированную архитектуру в среде». Изначально понятно, что определенному типу здания предсказан по тем или иным причинам и характеристикам определенный внешний облик. Именно эти составляющие определения внешнего вида здания в большей степени формируются под

действием природно-климатического. Создание развлекательных акваторий, применимых абсолютно в любой точке планеты, нецелесообразно с точки зрения социальной, конструктивной и архитектурной сторон. Таким образом, исходя из данной проблематики, первоочередная задача архитектора состоит в полном учете местных климатических условий, насколько это максимально возможно, для принятия наиболее рациональных архитектурно-пространственных решений. Для устройства и проектирования аквапарка основную роль выполняют рельеф, состав почвы и наличие грунтовых вод. Одной из «изюминок» может являться неровный, бугристый с перепадами рельеф, что позволит более виртуозно запроектировать первый этаж комплекса, в котором сосредотачиваются важные и символические конструкции – чаши ванн бассейнов. Немаловажную и определяющую роль для выбора и установки чаш бассейнов представляют грунты данной местности, а именно их состав и свойства, так как полагаясь на их происхождение выбор фундамента, что может создавать ограничения, при принятии архитектурно-планировочных решений развлекательной зоны комплекса.

В ходе анализа отечественного и зарубежного проектирования объемных и планировочных решений аквапарков крытого типа, в зависимости расположения второстепенных комнат или помещений относительно зоны акватории, можно разделить на семь архитектурных вариантов исполнения:

Одним из таковых вариантов является торцевой, основной отличительной чертой которого является расположение вспомогательных помещений и функциональных зон в торцевой части зального объема аквапарка. (рис.3).



Рис. 3. Аквапарк «Ocean Dome» (Япония).

Можно заметить, что выбирая данный вариант, будет нерациональным решением для

расположения в аквапарке дополнительных комплексов тренировочных и спортивных

бассейнов с отдельным сектором обслуживания. Для решения данной проблемы пристраивают отдельный спортивно-оздоровительный сектор, что в свою очередь нарушает эстетический вид и целостность образа основного комплекса. Самое рациональное решение данной задачи – устройство таких секторов на одной территории с аквазоной,

разделяя зоны с помощью материалов декорирования.

Линейных вариант архитектурного выбора отличим тем, что вся композиция комплекса сосредотачивается вдоль одной условно обозначенной в пространстве прямой линии (рис. 4).



Рис. 4. Аквапарк «Джунгли» в Хабаровске.

Третий вариант – атриумный. Данный тип основан на размещении разнообразных функциональных сегментов комплекса вокруг внутренней территории открытых или закрытых бассейнов согласно круговой схеме (рис. 5).



Рис. 5. Аквапарк «Акваполис» (Испания).

Атриумный вариант архитектурного решения особого применения не нашел, за исключением случая, когда необходима защита аквазоны от

сильных ветров, предопределенных климатической зоной.

Четвертый вариант архитектурного исполнения – периметральный. Выполняется по типу

исполнения атриумного, с тем отличием, что в данном варианте дополнительные помещения располагаются по две или три стороны от основного объема аквапарка (рис. 6). Территория отдыха и

водных аттракционов всегда абсолютно закрыта и освещение осуществляется за счет кровельных фонарей.



Рис. 6. Аквапарк «Лимпопо» в Екатеринбурге.

Главная отрицательная черта таких решений – длинные коридоры, соединяющие гардеробные с основным залом, организовать естественное освещение которых очень затруднительно.

Пятый вариант – павильонный, тот случай когда аква комплекс составляется из отдельных залов и

территорий, сообщение которых между собой напрямую не организовано (рис. 7). Связывание блоков комплекса между собой организуется с помощью переходов и навесных дорожек. В связи с этим, данный вариант архитектурного решения популярен для открытых аквапарков..



Рис. 7. Аквапарк «Дельфин» (Туапсе).

«Минус» в этом решении зачастую определяется в нерациональном расчете территории аквапарка, вследствие чего страдает полезная площадь аквапарка предназначенная для аттракционов, бассейнов и зон прочих услуг.

Однако же достоинство данного решения очевидно, и хорошо отслеживается в комплексах аквапарка закрытого типа, а именно благодаря секторной разбивке территории создаются тематические зоны, разделяющие посетителей по интересам и возрасту.

Шестой вариант исполнения архитектурного образа – блочный. При данном решении ванны, территории предназначенные для аттракционов,

плавания, отдыха и т.п. выносятся как индивидуальные объемы, при этом которые находятся «плечом к плечу» – примыкают всей площадью торцевой стены друг к другу (рис. 8). Обслуживающие помещения в данном случае являются связующим межблочным звеном, либо же вообще ядром композиции. Положительная сторона варианта – свободное сочетание блоков как различных масштабов так и высот. Данная возможность решения – основа для неординарных архитектурных и конструктивных сочетаний. Можно отметить немаловажную особенность, и состоит она в том, что строительство такого комплекса можно осуществлять поэтапно.

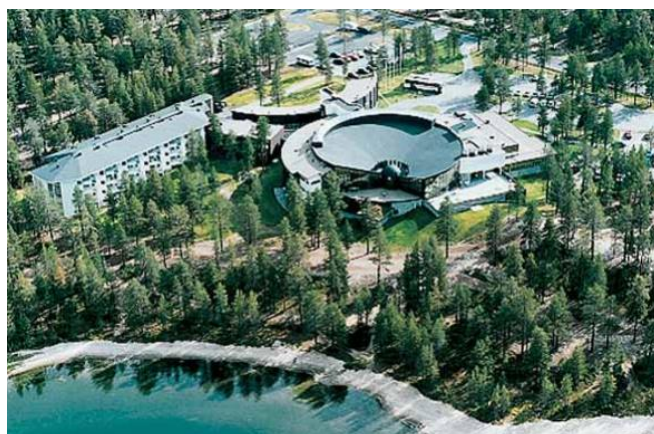


Рис. 8. Аквапарк «Holyday Club» (Финляндия)

Седьмой вариант – комбинированный. По своей сути это тип неповторимой формы или свободной планировочной структуры, которая несет в себе необычно новое явление относительно

стандартизированной застройки (рис. 9). Данный вариант аквапарка основан на сочетании в себе двух или более вариантов архитектурных решений перечисленных ранее.



Рис. 9. Аквапарк «Ривьера» в Казани (Пример линейно-блочного типа).

ВЫВОДЫ

В заключение анализа представленных архитектурных вариантов исполнения и проектирования аквапарков, можно прийти к основному заключению: определяющим элементом для принятия архитектурного решения, независимо от объема и сложности архитектурных решений проектируемого аквапарка является площадь территории и уникальность ее рельефа. Согласно универсальной схеме по модернизации планировочной структуры аквапарка, принцип которой основан на сопряжении основного объема аквапарка с многоуровневыми блоками обслуживания. Такой вариант позволяет выполнять устройство компактного здания, как одно- так и разноуровневого с полным набором помещений для рабочего персонала и посетителей. Однако несмотря на преимущественную направленность на создание компактных комплексов, в проектных предложениях должны оставаться пути и способы для задания тенденции увеличению числа ванн бассейнов и модернизации объема комплекса. Таким образом, полный учёт всех деталей и специфики климата местности, рельефа территории и принятие, на основе этой информации, наиболее рациональных архитектурных и конструктивных решений позволит создать понастоящему неповторимый и выразительный проект аквапарка

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 118.13330.2012 «СНиП 31-06-2009 Общественные здания и сооружения».
2. Аквапарки в мире и в РФ. Текст.: информ. - аналит. Журнал INTERGRITY CONSULTING & MARKETING SERVICES. 2006.
3. Архитектурное проектирование общественных зданий и сооружений Текст.: учеб. пособие / В.В. Адамович, Б. Г. Бархин, В. А. Варезкин [и др.]; под ред. И. Е. Рожина и А. И. Урбаха. М.: Стройиздат, 1984. Архитектура, строительство, дизайн Текст.: учебник для студентов высших архитектурно-строительных учебных заведений / Под общ. ред. А. Г. Лазарева. Изд. 2-е. - Ростов-н/Д: Феникс, 2006.
4. Аквапарк – это реально Электронный ресурс.: общеинформационное издание. – М., 2005. – Условия доступа: <http://www/aquapark.coast.ru/>
5. В.К. Лицкевич, Л.И. Макриенко, И.В. Мигалина и др.; под ред. Н.В. Оболенского. М.: «Архитектура - С», 2005.
6. Бакшеева Е.Е. Цвет и свет в архитектуре аквапарка Текст. / Е.Е. Бакшеева // Архитектура и время. 2009.
7. Бакшеева Е.Е., Янковская Ю.С. Аквапарки для Севера Текст. / Е.Е. Бакшеева, Ю.С. Янковская // Архитектура Строительство Дизайн. 2007.
8. Бакшеева Е.Е., Янковская Ю.С. Рекреационно-оздоровительный компонент в структуре жилого комплекса Текст. / Е.Е. Бакшеева,

Янковская Ю.

9. Василенко Н.А. Пространственная структура современных городских рекреационных комплексов Текст. / Н. Василенко.
10. Иконников А.В. Художественный язык архитектуры Текст. / А.В. Иконников. – М.: Искусство, 1985.
11. Иовлев В.И. Архитектурно-композиционное формообразование Текст.: учеб. пособие / Под ред. В.И. Иовлева. Екатеринбург: Архитектон, 2000.
12. Князева А., Седов. С. Развитие аквабизнеса на Урале Текст.: консалтинговая группа КГ ЭР / А. Князева, С. Седов. Капитал. Логистика и управление. – 2006. – №12.

REFERENCES

1. Rule book 118.13330.2012 «Building codes 31-06-2009 Public buildings and structures»
2. Water parks in the world and in Russia text.: inform-analyte. Integrity CONSULTING & MARKETING SERVICES. 2006.
3. Architectural design of public buildings and structures Text.: studies'. the manual / V. V. Adamovich, B. G. Barkhin, V. A. Barikin [et al.]; under the editorship of I.E. Rozhin, and A.I. Urbach. Moscow: Stroizdat, 1984. Architecture, construction, design text.: textbook for students of higher architectural and construction educational institutions / Under the General Ed. Ed. 2nd - Rostov-n/A: Phoenix, 2006
4. Water Park is really an Electronic resource. by: osseintegration AG edition. – M., 2005. – Access conditions: <http://www/aquapark.coast.ru/>
5. B.K. Litskevich, L.I. Makrinenko, I.V. Migalina, etc.; edited by N.V. Obolensky. Moscow: "Architecture-S", 2005.
6. Baksheeva E. E. Color and light in the architecture of the water Park Text. / E. E. baksheeva // Architecture and time. 2009.
7. Baksheeva E. E., Yankovskaya Y. S. water Parks for the North Text. / E.E. Baksheeva, Yu.S. Yankovskaya // Architecture Construction Design. 2007.
8. Baksheeva E.E., Yankovskaya Yu.S. Recreational and health component in the structure of the residential complex Text. / E.E. Baksheeva, Yankovskaya Yu.
9. Vasilenko N.A. Spatial structure of modern urban recreational complexes Text. / N.A. Vasilenko
10. Ikonnikov A.V. Artistic language of architecture Text. / A.V. Ikonnikov. – Moscow: Art, 1985.
11. Iovlev V.I. Architectural and compositional shaping Text.: studies'. the allowance / Under the editorship of V.I. Iovleva. Yekaterinburg: Architecton, 2000.
12. Knyazeva A., Sedov. C. development of aquabusiness in the Urals Text.: consulting group KG ER / A. Knyazeva, S. Sedov. Capital. Logistics and management. – 2006. – No. 12

FEATURES OF THE ARCHITECTURAL SOLUTION OF THE RECREATIONAL ZONE OF WATER PARKS

Badashev D.V.¹, Kashina I.V.¹, Nesterova A.N.²

¹Don State Technical University (DSTU),
344000, Southern Federal District, Rostov Region, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1, nastya-rd@mail.ru

²Moscow state university of civil engineering (national research university),
129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, Lisa.858@yandex.ru

Summary: This article represents the observation of the local and international experiences in designing and building of aquatic facilities, the analysis of ways to provide all necessary amenities on the territory of such facilities. It lists the most effective massive, architectural and planning concepts for building of an aquatic facility. Based on the analysis the conclusion is made on what can be considered the most rational and relevant choice of architectural concept for building an aquatic facility.

The study subject: Rational architectural solutions in the design of water parks.

Data and methods: The study was concluded with the help of empirical (observation) and theoretical (analysis and synthesis) methods.

Results: Possible variants of architectural solutions in different construction conditions.

Conclusions: The result of the most rational choice of the architectural solution of the water Park depending on the current conditions of the needs of society and construction opportunities is summed up.

Key words: water park, amusement park, architectural solution, features of water bodies.

ПРОБЛЕМА ДОСУГА СОВРЕМЕННОЙ МОЛОДЕЖИ. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Нагаева З.С., Мосякин Д.С.

Аспирант кафедры Градостроительства АСиА (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»
Mosyakin_dmitriy@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются особенности досуга современной молодежи. Проводится анализ потребностей молодого поколения и соответствия им современного положения досугового комплекса как в целом по России, так и в частности в Республике Крым. Крым является многонациональным регионом и здесь актуально провести дополнительное исследование, чтобы понять, как молодежным центрам взаимодействовать с молодежью и полностью обеспечивать их внедомашнее времяпровождение.

Предмет исследования: универсальные молодежные центры, потребности молодежи Российской Федерации и Крыма, в частности.

Материалы и методы: В ходе работы был проведен анализ литературы по теме исследования и выявлены основные направления развития универсальных многофункциональных молодежных центров на основе анализа положения молодежного досуга.

Результаты: в ходе исследования было выявлено, что формирование многофункциональных молодежных центров процесс важный и необходимо развивать подобные комплексы с учетом региональных особенностей молодежи, развивая в перспективе новые направления развития и модернизации молодежного движения.

Выводы: результаты полученного исследования дают понять, что формирование многофункционального молодежного центра необходимо формировать в тесной взаимосвязи с молодежью, выявлять и анализировать потребности и стремления, прогнозировать дальнейшие направления развития страны и региона в целом. Формирование молодого поколения лежит на плечах поколения нынешнего и только взаимодействие поколений сможет привести к устойчивому обществу. Настоящий этап формирования общества в Российской Федерации и особенно в Республике Крым очень важен и именно молодежные центры должны стать тем инструментом, с помощью которого может быть достигнуто развитие и формирование нового молодого поколения, ответственного за наше общее будущее.

Ключевые слова: молодежный центр, досуг, сеть, анализ, потребности, регион, развитие, стратегия, универсальность.

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня наши условия жизни сильно меняются, старые ценности ломаются и перестают быть актуальными, в такой ситуации очень сложно приходится именно молодежи. Молодежь наиболее подвержена различного рода переменам и трансформациям, тем более сейчас очень остро стоит вопрос организации свободного времени молодых людей.

У молодежи свободного времени совсем немного. В большей степени им располагают как раз подростки, они предпочитают более пассивные варианты досуга (слушать музыку, смотреть телевизор, прогулки). Старшие представители молодежи больше читают, ходят на различного рода мероприятия (концерты, выставки).

Проблема отдыха в Российской Федерации и в Крыму в частности, это уличная проблема. Подростки много времени проводят на улице, а в таких условиях просто необходимо организовать их времяпровождения, чтобы предупредить различные негативные последствия внедомашнего времяпровождения. Однако, в городах Крыма выбор форм досуга очень ограничен, а в малых города его практически нет.

Предметом исследования являются потребности молодежи в современном мире, стремления и направления развития, которые формируют нынешнюю молодежную культуру, дают задел на будущее и формируют те важные условия, в которых будет происходить развитие молодого человека в устоявшуюся личность, ответственную за происходящее в мире и в будущем. Свой отпечаток потребности и стремления молодежи откладывают и на архитектуру и планировочную организацию универсальных молодежных центров-учреждения, которые выступают инструментом формирования комфортной среды для обеспечения всех нужд и комфорта молодежи.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Гутнов А. Э., Лежава И.Г. в своих работах предлагали комплексный центр свободного общения, разделение его по функциональному признаку, а также на группы и зоны [1]; теория градостроительного применения «комплексных центров свободного общения» – стали фундаментальными теоретическими работами в сфере досуговых центров, клубных сооружений, этими материалами пользуются и сейчас.

В работе Теркуновой Т.В. предложен Центр досуга для подростков, который может помочь

решить свойственные только подросткам проблемы и схожие задачи (расширение группы помещений творческого развития в сравнении с другими помещениями; наличие специализированных групп помещений (многофункциональная коммуникативная зона, методический центр, профориентационная зона, музей; возможность выбора различных видов деятельности) [2]. Усманов М.С. разработал сеть учреждений досуга молодежи для крупнейшего города из 4-х элементов с подробной проработкой каждого [3].

За минувшие 15–20 лет за границей возникло большое количество научно обоснованных новых идей, которые изменили прежние представления о модели универсальных молодежных центров и подходам к их организации.

Интересные образцы многофункционального и пространственно-планировочного решений показывают клубные сооружения за границей, в частности в Прибалтике. Наибольшее распространение получили там досуговые учреждения, предназначенные для занятий каким-либо активным видом деятельности, ремасленными мастерскими, а также активным времяпровождением: начиная с танцев и постановки спектаклей и заканчивая занятиями спортом [4].

Проблематика свободного времени широко отражена в научной литературе. К основополагающим отечественным трудам в этой области относятся работы С.Г. Струмилина [5], В.Д. Патрушева, Г.П. Пруденского, Г.Е. Зборовского, Б.А. Грушина. Исследования этих авторов положили начало изучения понятия свободного времени населения, они стали основой для изучения данного вопроса, и характеризуются своей научной направленностью. С.Г. Струмили

классифицировал затраты времени, обосновал схемы деления времени, как ресурса, на его основные структурные части (труд, отдых, сон). В.Д. Патрушев рассматривал динамику использования времени, разработал методику исследования времени разных категорий населения.

В советский период особое внимание уделялось различным аспектам рационального использования своего времени трудящимся населением страны. Указанное направление исследований отражено в трудах В.А. Артемова, С.Г. Арутюняна, Е.И. Дробинской, Э.В. Соколова, Г.П. Орлова [6, 7], В. Г. Байкова [8].

В последние годы проблемы использования свободного времени населением, в частности вопросы управления, организации и планирования свободного времени, анализируются в работах И.А. Бутенко, И.А. Шмерлиной, А.В. Арямова, Т.В. Арямовой, В.А. Артемова, О.В. Новохацкой.

Ряд исследований отечественных и зарубежных ученых посвящен изучению досуга как структурной части свободного времени. Среди отечественных ученых следует выделить труды Н.М. Давыдовой, С.Г. Струмилина [5], В.Д. Патрушева [9], Г.А. Пруденского [10].

Особое внимание получают вопросы рационального использования ресурсов досуговых учреждений, например, в работах А. С. Орлова [11].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При определении потребностей молодежи, их интересов и определения способов формирования свободного времени молодежи необходимо определить возрастные границы молодежи. Молодежью считается группа в возрасте от 14 до 35 лет, подобный возрастной диапазон обусловлен необходимостью распространения определенных льгот и возможностей на лиц старше 30 лет («Молодая семья», «Молодой специалист»).

Анализ возрастных границ молодежи и исследования характерных отличительных черт молодых людей дает возможность выделить молодежь в отдельную, специфическую социальную группу в структуре общества. Выделение происходит на основе характерных, присущих только этой группе отличительных черт (возраст, интересы, ценности, как моральные, так и социальные, стремления, характер поведения, предпочтения в различных сферах жизни) [12].

Данное исследование касается, в основном, молодежи в городах, таким образом необходимо определить понятие город.

Город – это крупный населенный пункт, в котором в высокой степени сконцентрированы жители, сосредоточены архитектурные и инженерные сооружения, которые в свою очередь обеспечивают жизнедеятельность населения, проживающего на его территории, выполняющего промышленные, организационные, хозяйственные, управленческие, культурные, инженерно-транспортные и другие функции. Крупный город дает огромное поле для проявления потенциала активных, целеустремленных людей, в особенности молодежи. Город дает возможность найти престижную работу, построить успешную карьеру и в полной мере реализовать свои цели, перспективные возможности и свои потребности.

Крупный город – это особый «организм». В крупном городе формы досуга представлены более обширно, лучше организовано взаимодействие молодежи и старшего поколения, молодежи проще взаимодействовать между собой. Именно в городском социуме молодежь может получить качественное образование, найти достойную работу [3]. Такими особенностями обладает Симферополь, являясь столицей Крыма, здесь сосредоточены все возможности для качественного использования ресурсов, необходимых для комплексного формирования молодого человека. Но существует проблема нехватки комплексного покрытия учреждениями досуга потребностей населения. Подобные учреждения имеют разрозненный характер и населению довольно трудно пользоваться перечнем предоставляемых

форм досуга в полной мере. А в условиях нехватки времени данная проблема становится особенно актуальной.

Как показывают исследования, старшее поколение, в основном, считает, что у молодежи слишком много свободного времени и это время расходуется нерационально и по большей части впустую. Однако, 58% российской молодежи не привыкли бесцельно проводить время, они ищут новые пути в организации свободного времяпровождения, хотят развиваться и получать максимум пользы от каждого действия. Такое положение в обществе все более укрепляется и вскоре процент молодежи, незанятой ничем и бесцельно проводящей свой досуг будет сокращаться. Эта тенденция особо укрепляется в последние годы.

Обратимся к опросу, проведенному командой сервиса «Анкетолог», в опросе приняли участие 1120 человек в возрасте от 15 до 30 лет. Основной целью опроса было узнать, чем же занимается современная молодежь. Кратко охарактеризовывая результаты опроса, можно сделать вывод, что 60% опрошенных обучается в вузе, в школе 8%, техникуме – 10%, 16% молодых основными родом соевй деятельности назвали работы и лишь 2% указали, что совмещают работу и учебу. Молодежь в современном обществе все чаще отодвигает свои личностные характеристики и стремления на второй план, на первое место ставят работу, отчего происходит некоторое «буксование» в плане развития отдельных отраслей знаний. Возникает ситуация, когда молодежи, увлеченной работой, не хватает времени на учебу, хотя для молодых людей в институте обучение имеет приоритет. Можно предположить, что наличие свободного времени у молодежи напрямую зависит от рода их деятельности, однако это не так, в среднем у разных групп молодежи свободное время составляет 2-4 часа и большую часть этого времени коротается в интернете, причем зачастую бесцельно. Интернет – место коротания свободного времени для большинства современной молодежи, интернет стал одновременно и инструментов развития и инструментом разрушения современного человека. Одновременно с этим много пользователей указали, что вторым по популярности становится чтение художественной литературы, при этом данный вид времяпровождения наиболее популярен среди работающей молодежи.

При определении вида досуга молодежи, необходимо учитывать их потребности, которые обычно напрямую зависят от возраста. Для объективной оценки и реальной привязки к потребностям и предпочтениям молодежи был проведен опрос среди молодых людей. Всего опрошено 130 человек.

В возрасте 14-15 лет молодежь активно проводит свой досуг с друзьями, это время новых знакомств, время, когда молодые люди ищут свое место в обществе, в основном это происходит через

общение, через коммуникацию посредством сети интернет.

В возрасте 16-17 лет происходят изменения в потребностях молодежи, это переломный период в жизни человека, когда заканчивается школа и начинается учеба в вузе. Это новая ступень самостоятельной жизни. Как видно из результатов опроса, молодежь не довольна своим досугом, есть потребность отдыхать разнообразно, интересно и познавательно.

В возрасте 18-20 лет происходят изменения в образе жизни молодежи, молодой человек взрослеет, у него меняются ценности и способ мировосприятия. Как видно из результатов опроса, молодежь также не довольна разнообразием своего досуга.

В возрасте 20-23 лет молодой человек заканчивает учебу, это время выбора места работы, определения дальнейшего пути в жизни, время образования молодых семей. В этот период появляются новые потребности в досуге.

В возрасте 24-30 и более лет молодые люди уже полностью сформировались как личности, у них появляются свои убеждения, ценности и устоявшееся мнение[12].

У молодежи в современном мире очень много проблем. Однако, молодость – уникальная пора, в которой проходит самопознание, молодые люди энергичны и хотят максимально развиваться. Молодежь почти во всем самостоятельна и поэтому искать свое место в этом мире молодые люди могут через досуг. Можно проводить свое свободное время просто сидя дома у телевизора, но намного интереснее заниматься каким-либо делом, особенно, когда внедомашнее времяпровождение молодежи принимает организованный характер. Организация форм досуга молодежи актуально и востребована в эпоху цифровых технологий, ведь живое общение и совместное проведение досуга важный этап в социальной организации молодых людей[13].

В советский период молодежь была активно вовлечена в молодежные движения, кружки. Одной из главных задач того времени было максимально занять молодежь для исключения пустого времяпровождения. Поэтому действовало большое количество различных клубов, секций и кружков для всех возрастов. На сегодняшний день общественная деятельность российской молодежи практически сведена к минимуму. По материалам исследований (1997-2013 гг.), доля молодежи, участвующей в общественной деятельности составляет от 2 до 18,8%, всего 25% молодежи посещает кружки и клубы.

Современные тенденции диктуют изменения в структуре свободного времени молодежи. Досуг носит больше развлекательный характер, уступая место духовному развитию. Однако, в последнее время молодежь все чаще тяготеет к самообразованию, что обусловлено современными требованиями на рынке труда.

В настоящее время для современной молодежи характерно стремление к совершенствованию своего физического развития, что прослеживается в увлечении спортом - с 14% в 1997 г. до 29% в 2007 г. (по данным Института социологии РАН). Вместе с тем 22,5% молодежи испытывает сложность в рациональном использовании свободного времени, в основном связанную с неумением его планировать, правильно организовать.

Выявленные тенденции использования свободного времени городской молодежью противоречивы: с одной стороны, снижается общий уровень культуры молодежи, с другой - появляются новые формы свободного времени. Преодоление негативных тенденций, как показано в работе, возможно с помощью принятия мер, направленных на совершенствование использования свободного времени [14].

Перспективным типом зданий и сооружений в современных городских условиях является универсальный молодежный центр. Он может быть стационарным и передвижным (трансформируемым, модульным). Его можно создавать на базе каких-либо существующих зданий или размещать трансформируемый тип в пределах прилегающих территорий. Основной задачей при создании молодежного центра, как объединения молодежи является: создание климата, стимулирующего рост культурного и духовного потенциала. Посещая такой центр, каждый сможет узнать для себя что-то новое, привнести свои прогрессивные идеи, а также быть вовлеченной в процесс охраны и популяризации памятников культуры. Важной особенностью модульных молодежных центров станет их экономическая выгода, ведь такие центры смогут иметь огромный охват населения разных возрастов, что позволит привлекать инвестиции, как частные, так и государственные.

При решении социальных вопросов и задач, и их воплощении, необходимо использовать грамотный архитектурный подход. Гибкость, модульность, мобильность и многофункциональность – такими должны быть современные универсальные молодежные центры. Важно также уйти от существующей ныне разобщенности функций. Строительство одного единственного центра не исчерпает проблему, для эффективного решения нужен целый комплекс, с учетом потребностей и развития различных форм самого молодежного центра (отдельно стоящие, модульные) [4].

Работая над выполнением данной архитектурной задачи, необходимо помнить, что культурно и духовно богатая молодая нация – залог образованного и здорового общества.

Также на территории или вблизи объектов культурного наследия можно проводить выездные мероприятия (проведение различного рода фестивалей, выставок, квестов, тематических ярмарок и постановок), которые смогут вовлекать население и туристов к проблеме охраны,

реконструкции, музеефикации и популяризации архитектурно-градостроительного наследия.

Однако единым остается стремление всех молодых людей осуществлять свой досуг в соответствии с личными интересами. Молодежь старается максимально соединить наличие свободного времени с максимальной пользой для здоровья, и со своими финансовыми возможностями [4].

Особенно стоит отметить такую ячейку молодежного общества, как студенты, хоть они и не обладают наличием большого количества свободного времени, они являются активными пользователями различных форм досуга, являясь в некоторой степени «законодателями» в сфере видов и способов времяпровождения. Особенно стоит отметить организацию досуга в стенах университета, когда студенты проявляют инициативу и активно участвуют в создании и реализации форм досуга. Студенты, которые интересно проводят досуг в стенах университета, с радостью идут в свой университет.

Объединяет молодежь, населяющую планету, любовь расслабиться после напряженной трудовой недели. Разные менталитеты, традиции, характерные для того или иного народа являются ключевыми элементами выбора досуга.

Одна из главных составляющих при выборе места отдыха для студентов – материальные возможности и условия университета (организация учебного процесса: длина перерывов, наличие «окон» и пр.). Студенты российских вузов довольно редко проводят перерывы в занятиях на территории своего института, ведь мест для комфортного отдыха просто может не быть (парки в студенческих городках, различные арт-пространства).

Досуг современной студенческой молодежи России и Европы имеет массу сходств. На первый взгляд такие разные, а на самом деле имеющие колоссальное количество точек соприкосновения предпочтений.

Не важно, в какой стране живешь и какой род деятельности предпочитаешь для заполнения досуга, гораздо ценнее сохранить жизненный азарт и наслаждаться спектром возможностей студенческой жизни.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Как правило, однопрофильные учреждения отдыха и увеселений - это двух - четырёх -этажные помещения, в одном из ярусов которых расположены помещения, которые и приспособлены для проведения отдыха: танцевальные залы, киностудии, универсальные залы, оперные залы, выставочные и физкультурные залы, мастерские, с огромным числом присущих универсальных помещений, гарантирующих их комфортное формирование и функционирование (сауна, парикмахерские, лаборатории, киностудии видео - и аудиозаписи и пр.). В других ярусах располагаются помещения с целью увеселений и

общения: комнаты отдыха для гостей, различного направления залы, коридоры, буфеты, пабы, кафе-бары, ресторанички. Дома увеселений и клубы в Польше, Болгарии XX века значительно повторяют виды стандартного и личного проектирования российских клубов: воспринимаемый визуально холл для сосредоточения большого количества людей вов время различных собраний и выступлений, холл, репетиционные комнаты, буфетные, иногда – спортзал [3]. За последнее время особенности жизни и ведения отдыха вызвали видоизменения социальных нужд, как взрослого населения страны, так и представителей молодого поколения. Последнее время обозначилась явная закономерность к преобразованию существующих и созданию новых типов досуговых учреждений. В настоящее время в Российской Федерации становится весьма актуальным и востребованным развитие нового типажа учреждений – универсальных молодежных центров. Вышеуказанный современный вид многофункционального центра, направлен в общекультурное увеселение, формирование, воспитание, образование, современный вид, взаимодействие молодого человека с его окружением.

Стоит не забывать, что молодежь, при всей своей активности и энергичности, может быть не готова к такому обилию форм досуга, поэтому необходима активная работа с молодежью, проведение социальных опросов, анкетирования и анализа существующих потребностей.

Молодежный досуг – это поле для самореализации молодого человека, именно через досуг дает возможность развивать себя и развивать в себе качества для реализации конкретных дел.

Сегодня количество центров для молодежи в Российской Федерации весьма незначительно, если сравнивать с западными странами, и они весьма редкие и мало распространены. Поэтому навык проектирования и возведения подобных строений, отвечающих современным социальным требованиям и вызовам молодого поколения, практически отсутствует. Это усложняет задачу проектирования новейших молодежных центров.

Однако, в современных условиях государство всячески стимулирует развитие молодежных инициатив, проводятся огромное количество различных молодежных форумов, собраний, фестивалей. Вследствие этого, развитие и формирование многофункциональных молодежных центров – это вопрос времени.

Согласно " Стратегии развития молодежи Российской Федерации на период до 2025 года " до 2025 года предполагается планомерное развитие неформального и инклюзивного образования, увеличение качества и количества различных программ по наставничеству и подталкивание молодежи к профессиональной деятельности, начиная со старших классов школ. Это означает, что становление здорового молодого человека,

нравственно и психологически – это главное направление деятельности молодежной политики нашего государства. Привлекая молодежь в бизнес, разные волонтерские движения, формирование здорового образа жизни и агитация семейных и нравственных ценностей становятся тем стимулом, который будет развивать молодежь как будущее нашей страны. Именно при таком развитии молодежной политики значимым местом сосредоточения молодежи становятся модульные виды центров, которые, являясь также универсальными центрами, могут быть сосредоточением инициатив молодежи, различных стартапов. Также молодежные центры могут послужить местом для различного курса лекций, тренингов и мастер-классов, различной направленности и для различных групп молодежи. При насыщении подсистемами многофункционального молодежного центра поднимается вопрос и становлении сети молодежных центров в структуре города, где молодежь с окраин населенного пункта смогла бы свободно получать то же удовлетворение своих потребностей, те же знания и умения, не устремляясь в город и не расходуя много времени на дорогу [15]. Такой метод логичен и выдвинут на основе опроса, проведенного в городе Симферополь в 2017 году [12].

ВЫВОДЫ

Создание универсальных молодежных центров должно идти в ногу со временем, покрывая потребности молодежи в данный конкретный период времени. Такой подход применяется как в нашей стране, так и зарубежом. Постепенно необходимо накопление подобного опыта для применения его как в крупных областных и региональных центрах, так и в малых городах. Проблема организации досуга для всех слоев населения, всех возрастных групп и в любых условиях не имеет научного исследования и разработок.

Основными проблемами развития культуры досуга в России являются:

- недостаточное количество учреждений, отвечающих требованиям и веяниям современности;
- асоциальность молодежи;
- переосмысление в неправильном свете традиционных норм и ценностей;
- падение общего уровня культуры молодежи;
- деградация общества;
- замещение созидания потреблением;
- смена приоритетов нескольких поколений;
- распространение элементов упрощенной массовой культуры.

Решением данных проблем может послужить развитие модульных и трансформируемых форм универсальных молодежных центров, таким образом молодежь будет максимально обеспечена

учреждениями досуга и сможет активно и с пользой проводить свой досуг в любых условиях, независимо от своего положения, обеспеченности ресурсами и социального статуса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гутнов А.Э., Лежава И.Г. Будущее города. – М.: Стройиздат, 1977г. – 126с.
2. Теркунова Т.В. Особенности формирования новых типов культурно-просветительных учреждений центров для досуга подростков. Дисс.канд.арх. М., 1982.
3. Усманов М.С. Функционально-планировочная организация учреждений досуга молодежи в крупнейших городах. Дисс. канд. арх. Ташкент, 1985.
4. Архитектон. Известия вузов. Периодическое издание ФГБОУ ВПО Уральская государственная архитектурно-художественная академия [Электронный ресурс] / Валиахметова Л.З. Молодежные досуговые центры. История развития. Режим доступа: http://archvuz.ru/2004_1/25
5. Струмилин С.Г. Проблемы экономики и труда. - М., 1982
6. Соколов А.В. Феномен социально-культурной деятельности. СПб.: СПбГУП, 2003. – С.95.
7. Орлов Г.П. Свободное время как социологическая категория: учеб. пособие. Свердловск: Сред.-Урал. кн. издательство, 1973. – 158 с.
8. Байкова В.Г. Свободное время и всестороннее развитие личности. М.: Мысль, 1965. С.13, 18
9. Патрушева В.Д. Свободное время и духовное богатство личности / под ред. С.Г. Арутюняна, Н.Б. Жуковского. – М.: Знание, 1979.
10. Пруденский Г.А. Проблемы рабочего и вне рабочего времени. – М.: Наука, 1972.
11. Орлов А.С. Социология рекреации. М.: Наука, 1995. С.18
12. Сидорова, В.В., Мосякин Д.С. О необходимости формирования структуры сети многофункциональных молодежных центров / В.В. Сидорова, Д.С. Мосякин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 5–11. DOI: 10.14529/build170401
13. Цайдлер Э. Многофункциональная архитектура. Пер. с англ. А. Ю. Бочаровой; Под ред. И. Р. Федосеевой. – М.: Стройиздат, 1988г. —152 с: ил.
14. Вишняк А.И. Тарасенко В.И. Культура молодежного досуга. – Киев: Высшая школа, 1988
15. Стратегия развития молодежи Российской Федерации на период до 2025 года [Электронный ресурс] // URL:

<https://fadm.gov.ru/mediafiles/documents/document/98/ae/98aeadb5-7771-4e5b-a8ee-6e732c5d5e84.pdf>

REFERENCES

1. Gutnov A.E., Lezhava I. G. the Future of the city. - Moscow: stroizdat, 1977. - 126s.
2. Tikunova T.V. peculiarities of formation of new types of cultural and educational institutions, centres for leisure activities of adolescents. Diss. kand. arch. M., 1982.
3. Usmanov M. S. Functional and planning organization of leisure facilities for youth in the largest cities. Diss. Cand. Arch. Tashkent, 1985.
4. Architecton. University news. Periodical fgbou VPO Ural state architectural and artistic Academy [Electronic resource] / Valiakhmetova L.Z. Youth leisure centers. History of development. Mode of access: http://archvuz.ru/2004_1/25
5. Strumilin S.G. Problems of economy and labor, Moscow, 1982
6. Sokolov A.V. the Phenomenon of socio-cultural activity. Saint Petersburg: Spbgup, 2003. P. 95.
7. Orlov G.P. Free time as a sociological category: studies. stipend. The School Environments. - Ural publishing House, 1973, 158 p.
8. Baykova V.G. Free time and comprehensive development of the personality, Moscow: Mysl, 1965, P. 13, 18
9. Patrusheva B.D. Free time and spiritual wealth of the individual / ed. by S.G. Arutyunyan, N.B. Zhukovsky-Moscow: Znanie, 1979
10. Prudensky G. A. Problems of working and non-working time. - Moscow: Nauka, 1972
11. Orlov A. S. Sociology of recreation. Moscow: Nauka, 1995, P. 18
12. Sidorova, V.V., Mosyakin D. S. on the need for the formation of structures of a network of multifunctional youth centers / V.V. Sidorova, D. S. Mosyakin // Bulletin Of SUSU. Construction and architecture series. - 2017. - Vol. 17, No. 4. - P. 5-11. DOI: 10.14529 / build170401
13. Tsaydler E. Multifunctional architecture. Per. s Engl. A.Yu. Bocharova; ed. I. R. Fedoseeva. - M.: stroizdat, 1988g. -152 s: Il.
14. Vishnyak A. I. Tarasenko V. I. Culture of youth leisure. – Kiev: High school, 1988
15. Strategy of youth development of the Russian Federation for the period up to 2025 [Electronic resource] //URL: <https://fadm.gov.ru/mediafiles/documents/document/98/ae/98aeadb5-7771-4e5b-a8ee-6e732c5d5e84.pdf>

THE PROBLEM OF LEISURE OF MODERN YOUTH.
REGIONAL FEATURES

Nagaeva Z.S., Mosyakin D. S.

post-graduate student of the Department of Urban planning Asia (structural unit)
IN " Crimean Federal University. V. I. Vernadsky»

Abstract. The article deals with the features of leisure of modern youth. The analysis of the needs of the younger generation and their compliance with the current situation of the leisure complex in Russia as a whole, and in particular in the Republic of Crimea. Crimea is a multi-ethnic region and it is important to conduct additional research to understand how youth centers interact with young people and fully ensure their out-of-home activities.

Subject: universal youth centers, the needs of the youth of the Russian Federation and Crimea in particular.

Materials and methods: In the course of the work, the literature on the research topic was analyzed and the main directions of development of universal multifunctional youth centers were identified based on the analysis of the situation of youth leisure.

Results: the study revealed that the formation of multifunctional youth centers is an important process and it is necessary to develop such complexes taking into account the regional characteristics of youth, developing in the future new directions of development and modernization of the youth movement.

Conclusions: the results of this research make it clear that the formation of a multifunctional youth center should be formed in close relationship with the youth, identify and analyze the needs and aspirations, and predict the future development of the country and the region as a whole. The formation of the younger generation is on the shoulders of the current generation, and only the interaction of generations can lead to a sustainable society. This stage of formation of society in the Russian Federation and especially in the Republic of Crimea is very important and it is the youth centers that should become the tool through which the development and formation of a new young generation responsible for our common future can be achieved.

Key words: youth center, leisure, network, analysis, needs, region, development, strategy, universality.

Раздел 2. Строительство

УДК 378.14 DOI:10.37279/2413-1873-2020-18-35-42

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ВЫБОРУ ТЕМ МАГИСТЕРСКИХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ 08.04.01 «СТРОИТЕЛЬСТВО», ПРОФИЛЮ «ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА»

Юдина А.Ф.¹, Верстов В. В.², Гайдо А.Н.³

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4,
¹yudinaantonina2017@mail.ru; ²sp@spbgasu.ru; ³gaidoan@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются методические подходы к выбору тематик выпускных квалификационных работ в форме магистерских диссертаций по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство», профилю «Технологии и организация строительства». Актуальность тематики авторы обосновывают на основании опыта подготовки магистров на кафедре Технологии строительного производства Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета. Рассматриваются основные требования, предъявляемые современными профессиональными стандартами к формированию компетенций у магистрантов. Авторы подчеркивают важность первого этапа научно-исследовательской работы в семестре, при котором обучающиеся совместно с научным руководителем должны выявить проблему и определить направления работы и сформулировать тему выпускной квалификационной работы (диссертации), основываясь на анализе опыта работы и соответствующих документированных и недокументированных источников. Предлагаются подходы к формулированию тематики исследований, основанные на выявлении актуальных проблем в различных областях технологии и организации строительства. Анализируется соответствующий опыт работ, по подготовке магистров, накопленный на кафедре. Для этого этапа представлено ряд требований к выбору актуальных направлений исследования и дали рекомендации, основанные на практическом опыте работы по данному направлению. Проанализированы различные источники и направления формулирования тематик выпускных квалификационных работ магистрантов. При этом представлены соответствующие требования к наличию опыта у научного руководителя обучающегося. В заключении изложены подходы к оценке работы магистрантов в семестре на основании бально-рейтинговой системы, для реализации которой представлена система начисления баллов за различные разделы выполненных ими исследований, подготовленных статей, участие в конференциях и кейс чемпионатах.

Предмет исследования: методические подходы к выбору тематики исследовательских работ магистрантов по направлению подготовки 08.04.01 Строительство (уровень магистратуры), ориентированной на профессиональную деятельность в сфере строительства объектов промышленного и гражданского назначения.

Материалы и методы: критический анализ накопленного опыта по выбору тематик выпускных квалификационных работ магистров. Системный подход к формированию соответствующий компетенций у обучающихся.

Результаты: сформированы методические подходы к выбору тематик выпускных квалификационных работ магистрантов, представлены примеры формирования бально-рейтинговой системы при оценивании уровня сформированных компетенций обучающихся.

Выводы: ценность полученных выводов заключается в возможности их использовании на первом этапе научно-исследовательской работы магистрантов-строителей при выборе тематики диссертации, формулировании проблемы, цели и задач исследований.

Ключевые слова: проблема исследования, магистратура, диссертация, тема исследования, магистратура, бально-рейтинговая система, актуальность

ВВЕДЕНИЕ

Основными целями освоения основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство», профилю «Технологии и организация строительного» (магистратура) в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта (ФГОС) по направлению подготовки 08.04.01 (приказ Минобрнауки России № 482 от 31.05.2017) являются развитие у обучающихся личностных качеств, способствующих их творческой активности, целеустремленности, самостоятельности, а также формирование общепрофессиональных и профессиональных

компетенций, ориентированных на успешное решение задач в ходе профессиональной деятельности.

Такие компетенции у обучающихся формируются в ходе подготовки, апробации, написании и защите выпускной квалификационной работы (ВКР) в форме диссертации. Основной составляющей первого этапа научно-исследовательской работы (НИР) является формулирование проблемы и обоснование её темы.

С учетом изложенного основная проблематика исследуемая в статье касается процесса обоснования темы исследования для магистрантов. На кафедре технологии строительного производства Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета одновременно проходит обучение более 50 человек,

которых необходимо обеспечить тематикой исследования, что вызывает известные затруднения при формулировании тем ВКР.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В этой связи авторы выполняют анализ, систематизацию и выработку методических подходов по выбору направлений и тем исследований магистрантов.

Известно, что выбор темы исследования сводится к определению проблемы и это является нетривиальной и ответственной задачей, включающей в себя следующий ряд этапов [1]:

- формулирование и обоснование проблемы;
- установление её актуальности с учетом предварительного анализа литературных источников и опыта работы магистрантов;
- формулирование темы квалификационной работы.

К сформулированной на последнем из указанных этапов теме предъявляются следующие требования:

- актуальность, новизна, экономическая эффективность;
- уровень компетенций, сформированных у магистрантов в результате научно-исследовательской работы должен соответствовать уровню компетенций, установленных указанным выше государственным образовательным стандартом;
- соответствие профилю «Технологии и организация строительства»;
- решаемые задачи должны быть адекватны уровню подготовки (компетенциям) сформированными при подготовке бакалавров.

При этом для установления актуальности исследований может служить экономическая эффективность. На стадии выбора темы экономический эффект может быть определен только ориентировочно. Вторым критерий – это решение магистрантами определенных организационно-технологических задач, актуальных в области профиля обучения. Для теоретических исследований требование экономичности может уступать требованию значимости.

Важной характеристикой темы является возможность реализовать на практике комплекса предлагаемых решений, особенно если это касается новых технологических или организационных разработок. Поэтому, формулируя тему, магистрант должен ознакомиться с уровнем развития строительного производства, существующими подходами к решению задач. На этой стадии особую

значимость приобретают консультации и указания научного руководителя ВКР [2].

Таким образом, в ходе НИР в первом семестре от магистранта требуется общее знакомство с проблемой и предварительное ознакомление с литературой, после чего формулируется тема исследования. Затем составляется план диссертации и в первом приближении определяется ожидаемый экономический эффект.

Поэтому соискателю необходимо проанализировать общие вопросы в данном направлении, а также состояние вопроса, касающегося конкретной задачи в сфере строительной отрасли. От него требуется изучение предшествующего опыта и приобретение соответствующих знаний в смежных областях. При этом с учетом рекомендаций руководителя формулируется проблема, и определяются в общих чертах ожидаемые результаты, а затем разрабатывается структура ВКР, устанавливается актуальность и формулирование задач.

В работах Шаленого В.Т. [3,4] подчеркивается значимость формирования проблематики исследования с учётом исследования проблем безопасности жизнедеятельности при выборе организационно-технологических решений на различных циклах строительства зданий и сооружений.

Исследования Егорова А.Н. и др. [5,6] направлены на формирование тематик инновационных технологий, исследуемых в магистерских диссертациях. Это проблематика «зеленого строительства», контурного строительства, ВИМ технологий и т.п. В статье Вороны-Сливинской Л.Г. и др. [7] описана методика разработки основных разделов магистерской диссертации, направленных на совершенствование технологий полносборного строительства.

В работах Болотина С.А., Дроздова Л.М., Колчеданцева Л.М. и др. [8-10] опыт исследования магистрами в области современных методов прогноза продолжительности строительства и обоснования показателей поточного строительства.

Таким образом, чтобы проанализировать научную и техническую информацию в рассматриваемой области знаний, нужно провести соответствующий литературный обзор по данной проблеме. Это необходимо, чтобы обосновать потребность и необходимость решения поставленных задач. Виды источников, рекомендуемых магистрантам для изучения, по их основным классификационным признакам представлены в таблице 1 [3-12].

Таблица 1. Классификация источников информации, рекомендуемых магистрантам для изучения в ходе определения проблемы и формулировании темы исследования
Table 1. Classification of sources of information recommended for undergraduates to study during the definition of the problem and the formulation of the research topic

Наименование или вид источников	Классификации		
	Источники научной информации	Документальные	Опубликованные Неофициальные Неопубликованные
Не документальные		Электронные ресурсы	- Из специализированных ресурсов, включая базы статей РИНЦ, скопус и т.п. - Из тематических - Из разрозненных источников, включая социальные сети
Виды документальных источников	По целевому назначению		- Научные - Учебные - Справочные - Производственные - Официальные - Неофициальные - Патентные
	По доступности для исследования		- Открытые - С санкционным доступом - Ограниченного доступа
	По уровню структуризации		- Объединенные в информационные системы - Разрозненные (не объединенные)
	По территориальной принадлежности		- Международные - Государственные - Региональные - Отраслевые - От предприятий, организация

Анализ приведенных в таблице 1 источников позволяет соискателю сформулировать рабочую гипотезу, наметить методы решения проблемы, выделить задачи и основные этапы исследования. Таким образом, этот этап должен завершаться формулированием цели, определением объекта исследования, оценкой эффективности практических результатов решения научно-технической проблемы, возможности и их внедрения в практику.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для решения поставленной задачи был выполнен анализ соответствующих научных работ, нормативных положений и опыта работ по подготовке магистрантов по профилю «Технологии и организация строительного».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Пройдя представленные этапы исследований в ходе НИР в семестре магистранту для определения проблематики и формирования тем ВКР авторами

рекомендуются принять во внимание следующие методические подходы:

- внешние источники при которых на кафедру в качестве соискателя приходит специалист с производства с проблематикой, требующей технологического решения (тематика исследования должна быть известна магистранту по его профессиональному опыту). Например, тематика ВКР, сформулированная на основании исследования технологических параметров опалубочных систем при бетонировании перекрытий в стесненных условиях реконструкции объектов исторического наследия;

- внутренние источники, основанные на использовании наработок научного руководителя. Подразумевается, что уже создана определенная база исходного материала для анализа в виде публикаций, патентов, каталога электронных ресурсов и т.п.;

- продолжение тематики НИР проводимых на кафедре в рамках сформировавшейся научной школы и т. п. Магистранту в части развития этой тематики можно ставить задачу в разработке комплекта организационно-технологической документации для возможности практической реализации определенных решений;

- внутренняя тематика исследований, результаты которых можно использовать в учебном процессе при курсовом проектировании и выполнении ВКР. Например, формирование новых норм и актуализаций показателей, представленных в сборниках ЕНиР с учетом применения новых технологий, машин, оборудования, инвентаря и т. п. В качестве основной методологии при выполнении таких НИР следует применять хронометраж, проводимый в реальных условиях строительных площадок;

- внутренняя тематика в рамках сложившейся научной школы на кафедре. Например, при проведении магистрантами исследований при определении рациональных областей применения вибрационного оборудования для работ нулевого цикла;

- внутренние источники в рамках развития идей заложенных в предыдущих диссертациях магистрантов. Например, по теме совершенствование технологических процессов в силу каких-то ограничений остались нерешенными некоторые проблемы, которые можно успешно решить в ходе продолжения дальнейших исследований. Так в работе магистранта был предложен способ и определены основные технологические параметры по погружению свай в условиях мерзлых грунтов, основанные на применении термо-вибро лидера. Подана соответствующая заявка на изобретение. Результатом такой работы явился комплект технологической документации по применению

предлагаемого способа. В продолжении этой тематики магистранту следующего года обучения поставлена задача в определении параметров разогрева лидера, необходимого для исключения его смерзания с грунтовым массивом;

- поисковые работы, основанные на анализе первичных и вторичных источников в части исследования параметров современных технологий [5,6,7,11]. При этом магистранту можно выдать задание на решение проблемы и разработки комплектов технологической документации для применения современного оборудования или новейших технологий, не имеющих аналогов. К ним можно отнести исследования в направлении разработки организационно-технологических схем при возведении быстровозводимых зданий, работе 3Д принтеров (контурное строительство), строительстве сооружений в условиях Арктических зон с применением купольных систем состоящий из деревянных элементов и т. п.;

- формирование тем, входящих в известные перечни приоритетных направлений развития науки, технологий и техники РФ (указ Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899 с дополнениями). Например, проблемы строительства в Арктических зонах. Кроме того, перечни таких тематик публикуется на сайте Фонда перспективных исследований при правительстве России (создан на основании Федерального закона от 16 октября 2012 года № 174-ФЗ «О Фонде перспективных исследований»);

Таблица 2. Рекомендуемые направления проблематики ВКР
Table 2. Recommended areas of dissertation problems

№ п/п	Источники формирования проблем (тематик), рассматриваемых в ВКР	Рекомендации по выбору направления исследования для магистрантов различным форм обучения		Наличие специализированных компетенций магистрантов для освоения темы	Особые требования к компетенциям руководителям	Необходимость привлечения для консультирования сторонних специалистов
		Очной	Заочной			
1	Из перечней приоритетных направлений развития науки, технологий и техники РФ	+	+	+	+	-
2	Кейс-задания от партнеров ВУЗа	+	+	-	-	-
3	Продолжение тематики НИР, проводимых на кафедре в более ранних ВКР	+	-	-	-	-
4	Задачи, ориентированные на производственные нужды	-	+	+	-	-
5	Обоснование параметров современных технологий, с разработкой соответствующей –организационно-технологической документации	+	+	-	-	-
6	Из перечней приоритетных направлений развития науки, технологий и техники РФ	+	-	+	+	+
7	Внутренняя проблематика работ, основанная на экспериментальных исследованиях, проводимых в лабораторных условиях	+	-	-	+	+

- внешние источники. Кейсовые задачи, поступающие от производственных партнеров кафедры, университета. К формированию кейсов можно подойти с позиций заданий профильных комитетов региональных правительств, конкурсов Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) и других государственных структур на лучшие проекты по заданной тематике. Например, организационно-технологические разработки по комплексной реновации территорий, включая этапы по демонтажу существующих зданий и сооружений, оценке возможности использования существующих конструкций фундаментов для нового строительства и т. п. [3];

- внутренняя проблематика работ, основанная на экспериментальных исследованиях, проводимых в межкафедральных лабораториях ВУЗа или на полигонах базовых кафедр. Например, определение конструктивно-технологических параметров устройства соединительных элементов быстровозводимых модульных зданий.

С учетом вышесказанного, для возможной качественной оценки методических подходов в таблице 2 приведены рекомендуемые направления проблематики ВКР для магистрантов, обучающихся по различным формам обучения.

Таким образом, представленные в таблице 2 показатели и методические подходы позволяют магистрантам и, в первую очередь, их руководителям провести анализ актуальности различных проблем по профилю ТОС и сформулировать тематику ВКР, а в дальнейшем сформулировать тему и задачи исследования.

Для соответствующей оценки работы магистрантов в ходе НИР, с учетом представленного выше материала авторами разработана бально-рейтинговая система (БРС) по оценке компетенций, полученных магистрантами в ходе НИР в первом семестре [2].

Известно, что БРС это система непрерывной накопительной количественной оценки качества работы студентов и уровня освоения студентами образовательной программы. Она внедрена в образовательный процесс в ведущих ВУЗах России. Её основа состоит в использовании совокупности контрольных точек (результаты текущего контроля фиксируются как отдельная контрольная точка), равномерно распределенных в течение семестра.

На первом этапе НИР в семестре научный руководитель объявляет магистрантам правила БРС и систему начисления баллов по своей дисциплине. При этом условия, объявленные в начале освоения дисциплины, не меняются на всем протяжении. Приведём основные компоненты такой системы [12]:

единая шкала оценивания работы студента;

график изучения учебной дисциплины и описание видов и форм контроля учебной работы студента по дисциплине;

график контрольных точек (результаты текущего контроля фиксируются как отдельная контрольная точка);

описание порядка набора баллов и получение рейтинга;

комплекс методических материалов по каждой дисциплине;

информационная система.

Применяется следующая система оценки: максимальная сумма баллов 100. Общая сумма баллов за все контрольные точки составляет 55 баллов и более. По каждой контрольной точке магистрантом должно быть набрано не менее минимально допустимого количества баллов. Минимальная и максимальная суммы баллов текущего контроля по каждой контрольной точке НИР в семестре устанавливаются кафедрой. Пример такой системы, разработанной авторами, представлен в таблице 3.

Таблица 3. Система начисления баллов при оценке научно-исследовательской работы магистрантов в первом семестре

Table 3. Scoring system for evaluating research work of undergraduates in the first semester

№	Вид контроля (наличие необходимых материалов)	Значения начисленных баллов	
		Мин.	Макс.
1	Выполнен анализ различных источников по теме исследования	10	10
2	Сформулирована проблема исследования	10	20
3	Обоснована тема исследования	5	10
4	Сформулированы цель и задачи исследования	5	10
5	Предложена гипотеза исследования	0	10
6	Подготовлен отчет по НИР в семестре	10	10
7	Подготовлено содержание ВКР	10	10
8	Статья по теме исследования подготовлена к изданию	5	10
9	Статья издана	0	20
Итого		55	100

Ниже приведена расшифровка представленных в таблице 3 значений баллов для перевода в традиционную систему оценок:

- до 54 баллов – «неудовлетворительно»; от 70 до 84 – «удовлетворительно»;
- от 85 до 100 – «хорошо»; от 55 до 59 – «отлично».

ВЫВОДЫ

Таким образом, представленная авторами система позволит объективно выполнить оценку сформированных у обучающихся компетенций и контролировать процесс обоснования проблемы и темы ВКР, формулирования цели и задач исследования.

В заключении авторы отмечают важность определения тематики исследования при работе магистрантов над ВКР. К тематикам и выявленной проблеме необходимо предъявлять ряд требований, представленных авторами. Также обоснованы методические подходы по определению научными руководителями таких проблем.

С учетом изложенного предложены критерии бальной оценки этапов выполнения работ магистрантами в ходе научно-исследовательской работы в первом семестре. При этом, как подчеркивают авторы, в условиях быстрого пополнения объемов выполненных ВКР и ростом информационных массивов по новым технологиям авторами подчеркивается важность роли уровня квалификации научного руководителя, отвечающего основным требованиям соответствующего профессионального стандарта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология научного исследования. М.: Книжный дом ЛИБРОКОМ. 2010. 280 с.
2. Верстов В.В., Юдина А.Ф., Гайдо А.Н. Основные принципы разработки разделов безопасности жизнедеятельности в составе курсовых проектов, выпускных квалификационных работ и магистерских диссертациях по дисциплине «Технология строительного производства» // Педагогические параллели: материалы VI Международная науч.-практ. конференция. – СПб.: СПбГАСУ, 2018. – С.199-203.
3. Шаленый В.Т. Актуализация образовательной программы «Теория и практика организационно-технологических решений» для совершенствования профессиональной подготовки магистров-строителей. Инновационное развитие строительства и архитектуры: взгляд в будущее. // Сборник тезисов участников Международного студенческого строительного форума. 2018. Под общей редакцией Н.В. Цопы. 2018. С. 133-136.
4. Шаленый В.Т. Изыскание и отражение проблемы безопасности жизнедеятельности в программе «Теория и практика организационно-технологических решений для подготовки магистров-строителей». Методология безопасности среды жизнедеятельности. // Программа и тезисы IV Крымской Международной научно-практической конференции. Под редакцией: А.Т. Дворецкого, Т.В. Денисовой, А.Е. Максименко. 2017. С. 79-80.
5. Егоров А.Н., Дьячкова О.Н., Тилинин Ю.И. Актуальные направления повышения уровня

образовательного процесса и научных исследований в строительном ВУЗе // Педагогические параллели: материалы V Международная науч.-практ. конференция. – СПб.: СПбГАСУ, 2018. –С.201-206.

6. Егоров А.Н., Шприц Л.М., Гдимилян Н.Г. Инновационные технологии в строительстве // Строительство и реконструкция, 2015. – № 3(59). С.130-137.

7. Ворона-Сливинская Л.Г., Сычёв С.А. Методика разработки основных разделов магистерской диссертации как перспектива модернизации технологий полносборного строительства в России // Педагогические параллели: материалы V Международная науч.-практ. конференция. – СПб.: СПбГАСУ, 2018. – С.613-617.

8. Болотин С.А., Дроздов А.Д., Нефедова В.К. Некоторые практические аспекты применения *bim*-технологии в образовательном процессе // Педагогические параллели: материалы V Международная науч.-практ. конференция. – СПб.: СПбГАСУ, 2018. – С.73-79.

9. Болотин С.А., Дадар А.К.Х., Мальсагов А.Р. Анализ современных методов прогноза продолжительности строительства // Недвижимость: экономика, управление. 2018. № 4. С. 79-83.

10. Колчеданцев Л.М., Дроздов А.Д., Осипенкова И.Г., Ступакова О.Г. Петербургская школа поточной организации строительства // в сборнике: Петербургская школа поточной организации строительства. I Всероссийская научно-практическая конференция, посвященная 95-летию со дня рождения профессора Виктора Алексеевича Афанасьева – СПб.: СПбГАСУ, 2018. – С.3-7.

11. Юдина А.Ф., Евтюков С.А. Тилинин Ю.И. Развитие технологий жилищного строительства в Санкт-Петербурге // Вестник гражданских инженеров. № 1(72). СПбГАСУ, СПб 2019. С. 110-119.

12. <https://www.spbgasu.ru/upload-files/obrazovatdejatelnost/povishenijekvalifikacii/vnutrenniedoc>

REFERENCES

1. Novikov A.M., Novikov D.A. Metodologija nauchnogo issledovanija [The methodology of scientific research]. Moscow. Knizhnyj dom LIBROKOM. 2020. 280 p. (In Russian)
2. Verstov V.V., Judina A.F., Gajdo A.N. Basic principles of development of sections of life safety as part of course projects, graduate qualified works and master's theses on the discipline technology of construction production // Pedagogicheskie paralleli: materialy VI Mezhdunarodnaja nauch. -prakt. konferencija. 2019. pp.199-203 (In Russian)
3. Shalenyj V.T. Updating the educational program «Theory and practice of organizational and technological solutions to improve» the professional

training of master builders. Innovative development of construction and architecture: a look into the future // Sbornik tezisev uchastnikov Mezhdunarodnogo studencheskogo stroitel'nogo foruma. 2018.pp.133-136 (In Russian)

4. Shalenyj V.T. Research and reflection of the problem of life safety in the program Theory and practice of organizational and technological solutions for the preparation of master builders. Methodology of life environment safety // Programma i tezisy IV Krymskoj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. 2017. pp.79-80. (In Russian)

5. Egorov A.N., D'jachkova O.N., Tilinin Ju.I. Current directions for improving the level of educational process and research in the construction University // Pedagogicheskie paralleli: materialy V Mezhdunarodnaja nauch. -prakt. konferencija. 2018. pp. 201-206. (In Russian)

6. Egorov A.N., Shpric L.M., Gdimiljan N.G. Innovative technologies in construction // Stroitel'stvo i rekonstrukcija, 2015. Vol.3(59). pp. 130-137 (In Russian)

7. Vorona-Slivinskaja L.G., Sychev S.A. Methods of development of the main sections of the master's thesis as a perspective of modernization of technologies of Full-Assembly construction in Russia // Pedagogicheskie paralleli: materialy V

Mezhdunarodnaja nauchno praktičeskaja konferencija. 2018. pp. 613-617 (In Russian)

8. Bolotin S.A., Drozdov A.D., Nefedova V.K. Some practical aspects of applying bim technology in the educational process // Pedagogicheskie paralleli: materialy V Mezhdunarodnaja nauchno praktičeskaja konferencija. 2018. pp. 73-79 (In Russian)

9. Bolotin S.A., Dadar A.K.H., Mal'sagov A.R. Analysis of modern methods for predicting construction duration // Nedvizhimost': jekonomika, upravlenie. 2018. Vol.4. pp. 79-83 (In Russian)

10. Kolchedancev L.M., Drozdov A.D., Osipenkova I.G., Stupakova O.G. St. Petersburg school of flow organization of construction // V sbornike: Peterburgskaja shkola potочноj organizacii stroitel'stva. I Vserossijskaja nauchno-praktičeskaja konferencija, posvjashhennaja 95-letiju so dnja rozhdenija professora Viktora Alekseevicha Afanas'eva. 2018. pp. 79-83 (In Russian)

11. Judina A.F., Evtjukov S.A. Development of housing construction technologies in Saint Petersburg // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. Vol. 1(72). 2019. pp. 110-119 (In Russian)

12. <https://www.spbgasu.ru/upload-files/obrazovatdejatelnost/povishenijekvalifikacii/vnutr enniedoc>

METHODICAL APPROACHES TO THE SELECTION OF THE MASTER THESES BY
SPECIALTY 08.04.01 «CONSTRUCTION», PROFILE «TECHNOLOGY AND
ORGANIZATION OF CONSTRUCTION»

Yudina A.F. ¹, Verstov V.V. ², Gaido A.N. ³

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 4 Vtoraya Krasnoarmeiskaya ul., Saint
Petersburg, Russia, 190005

¹yudinaantonina2017@mail.ru; ²sp@spbgasu.ru; ³gaidoan@mail.ru

Abstract. The article considers methodological approaches to the selection of topics for final qualifying works in the form of master's theses in the direction of preparation 08.04.01 "Construction", the profile "Technologies and organization of construction". The authors justify the relevance of the topic based on the experience of training masters at the Department of construction production Technology of the Saint Petersburg state University of architecture and construction. The main requirements of modern professional standards for the formation of competencies of undergraduates are considered. The authors emphasize the importance of the first stage of research work in the semester, in which students together with the supervisor must identify the problem and determine the direction of work and formulate the topic of the final qualifying work (dissertation), based on the analysis of work experience and relevant documented and undocumented sources. Approaches to the formulation of research topics based on the identification of actual problems in various areas of technology and construction organization are proposed. The corresponding experience of work on the preparation of masters, accumulated at the Department, is analyzed. For this stage, a number of requirements for the selection of relevant research areas are presented and recommendations based on practical experience in this area are given. Various sources and directions of formulation of topics of graduate qualification works of undergraduates are analyzed. At the same time, the corresponding requirements for the student's scientific supervisor's experience are presented. In conclusion, the approaches to evaluating the work of undergraduates in the semester on the basis of a score-rating system, for the implementation of which a system for awarding points for various sections of their research, prepared articles, participation in conferences and case Championships is presented.

Subject: Methodological approaches to the selection of research topics for undergraduates in the direction of training 08.04.01 Construction (master's level), focused on professional activities in the field of construction of industrial and civil facilities.

Materials and methods: critical analysis of the accumulated experience in the selection of topics for master's final qualifying works. A systematic approach to the formation of appropriate competencies in students.

Results: Methodical approaches to the selection of topics for graduate qualification works of undergraduates are formed, examples of the formation of a ball-rating system for evaluating the level of formed competencies of students are presented.

Conclusions: The value of the obtained conclusions lies in the possibility of using them at the first stage of research work of master builders when choosing the topic of the dissertation, formulating the problem, goals and objectives of research.

Key words: Research problem, master's degree, dissertation, research topic, master's degree, score-rating system, relevance/

ИНТЕНСИВНЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
КАРБОНАТНОГО ТВЕРДЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТКОВОГО ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯЛюбомирский Н.В.¹, Федоркин С.И.², Бахтин А.С.³, Бахтина Т.А.⁴

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, ул. Киевская, 181,

¹niklub.ua@gmail.com; ²kfu.fedorikin@mail.ru; ³aleserba@gmail.com; ⁴t.bakhtina83@gmail.com

Аннотация: настоящая статья посвящена исследованию и разработке интенсивных способов твердения изделий за счет улавливания и связывания CO₂ и направлена на усовершенствование и повышение производительности технологий производства искусственно карбонизированных строительных материалов и изделий.

Предмет исследования: разработка интенсивных способов принудительной карбонизации систем, состоящих из отходов содового производства – известковой пыли и мелкодисперсного известняка, и влияния их на формирование основных свойств, соответствующих для конструкционных строительных материалов и изделий, в зависимости от различных рецептурно-технологических факторов.

Материалы и методы: в качестве объектов исследования использованы отходы содового производства – известковая пыль, механически осаждаемая в циклонах и рукавных фильтрах шахтных известковых печей и мелкодисперсные отсеvy мраморовидных известняков. Вторичное сырье исследовано с помощью современных методов исследования фазового состава и гранулометрии. Методами многопараметрической оптимизации исследованы интенсивные способы организации ускоренной карбонизации систем, состоящих из отходов содового производства – известковой пыли и мелкодисперсного известняка, и установлены закономерности влияния их на формирование прочностных и гидрофизических свойств получаемого материала в зависимости от состава сырьевой смеси, условий формования, концентрации CO₂, подаваемого в камеру карбонатного твердения в виде газо-воздушной смеси, и продолжительности выдерживания в средах с повышенным содержанием CO₂.

Результаты: получены экспериментально-статистические модели принудительного карбонатного твердения образцов на основе известковой пыли и известняка, по результатам двух четырехфакторных экспериментов, отличающихся способом принудительной карбонизации – динамичный (циклический) и статичный. Проведен анализ изменения физико-механических свойств опытных образцов – прочности при сжатии, плотности, водопоглощения, водостойкости и толщины карбонизированного слоя в зависимости от изменения исследуемых факторов – концентрации углекислого газа, удельного давления прессования, влажности сырьевой смеси и режима принудительной карбонизации.

Выводы: установлено, что наиболее эффективным способом организации ускоренного карбонизационного твердения строительных материалов и изделий полусухого прессования из вторичного известкесодержащего сырья и мелкодисперсного известняка, является комбинированный способ карбонизации, заключающийся в создании предварительного разряжения в карбонизационной камере, последующей подачи в нее углекислотной газо-воздушной смеси и дальнейшей карбонизации в статичном режиме при поддержке в камере карбонизации постоянной концентрации CO₂ в пределах 30-40 %.

Ключевые слова: принудительное карбонатное твердение; вторичное сырье; Ca(OH)₂; CaCO₃; CO₂; камера карбонизации.

ВВЕДЕНИЕ. АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Глобальные экологические проблемы изменения климата в результате антропогенного воздействия на природу прочно вошли в разряд наиболее обсуждаемых на международном уровне вопросов (Conference of Parties (COPs) in Warsaw (COP-19 in 2013), in Lima (COP-20 in 2014), in Paris (COP-21 in 2015), and most recently in Marrakech (COP-22 in November of 2016). Увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере на современном этапе развития экономики требует разработки новых продуктов и методов производств, характеризующихся более низкими выбросами CO₂, чем традиционные подходы.

Одной из отраслей промышленности, выбрасывающей в атмосферу существенное количество техногенного CO₂, является индустрия строительных материалов, которая по количеству мировых выбросов CO₂ находится на втором месте после энергетического сектора. Так только на

производство портландцемента и других вяжущих приходится до 10 % техногенных выбросов CO₂ во всем мире [1-4]. В этом смысле секвестрация CO₂ представляет собой один из важнейших технических вызовов современности [5].

Примечательно, что наряду с этим, именно строительная отрасль обладает значительным потенциалом в части создания технологий производства различных материалов и изделий, использующих в процессе их изготовления углекислый газ. В работах [6,7] показано, что CO₂ может использоваться как в качестве эффективной добавки-ускорителя твердения цементных бетонов, так и в качестве основного сырьевого компонента [8-10]. В последнее время наблюдается устойчивый и всевозрастающий интерес к различным альтернативным вяжущим и материалам, проявляющим вяжущие свойства, содержащим в своем составе минералы, которые способны взаимодействовать с CO₂ и связывать его в устойчивые соединения.

Существенным резервом сырьевых ресурсов при производстве строительных материалов и изделий, твердеющих за счет углекислого газа, являются различные отходы и техногенные продукты, которые при определенной технологической переработке могут проявлять вяжущие свойства и вступать в химическое взаимодействие с углекислым газом, образуя при этом искусственный камень. В результате проведенных многочисленных исследований [11-15] выявлен ряд видов вторичного сырья, обладающего существенным потенциалом к связыванию CO_2 , разработаны научно-технологические основы для внедрения полученных результатов в промышленность [13-16], а также выпущены опытно-промышленные партии строительных изделий, твердевших в среде повышенной концентрации CO_2 [13,16].

Одним из перспективных видов вторичного сырья для производства строительных материалов карбонатного твердения являются отходы, образующиеся при производстве кальцинированной соды. Химический процесс производства кальцинированной соды по аммиачной технологии основывается на пяти реакциях, одной из которых является получение оксида кальция и диоксида углерода в результате обжига карбонатных горных пород в известково-обжиговых печах [17]. В результате очистки углекислого газа для дальнейшего его использования получают побочный продукт, так называемую, известковую пыль, которая отличается низкой активностью и не находит должного дальнейшего применения. Рядом проведенных научных исследований определены направления использования побочных продуктов содового производства для получения строительных материалов и изделий [18,19], в том числе, в качестве низкоактивной извести, но на практике этого не происходит, что не позволяет уйти от проблемы скопления данного побочного продукта в отвалах и негативного влияния его на окружающую среду. Исследованиями,

проведенными авторами настоящей статьи ранее [20], установлена возможность использования известковой пыли для получения строительных материалов методом принудительной карбонизации, обладающих высокими физико-механическими характеристиками. Заполнителем в этих материалах выступали мелкодисперсные известняки, которые также представляют собой побочные продукты, которые образуются при сортировке известнякового щебня, идущего на обжиг для получения извести и углекислого газа. Анализ направлений утилизации отходов содового производства в строительные материалы принудительного карбонатного твердения показал, что карбонатная технология позволяет полностью утилизировать все образующиеся твердые побочные продукты, а также выбрасываемый в атмосферу углекислый газ, не требует специальной подготовки, непосредственно используя его без всякой очистки. Подобное решение недорогое, достаточно простое с технико-технологических

позиций и позволяет значительно уменьшить образование отходов при производстве соды, а за счет снижения выбросов CO_2 в атмосферу значительно повысить экологичность технологии, переведа ее в класс «низкоуглеродной».

Принудительная карбонизация представляет собой активный процесс твердения и позволяет получать материалы с высокими физико-механическими характеристиками в течение короткого времени (1-3 часа) [20-22]. Однако, вопросы повышения производительности технологий производства искусственно карбонизированных строительных материалов и изделий за счет применения более интенсивных способов организации их принудительной карбонизации и закономерности формирования свойств получаемых материалов при этом вызывают определенный научно-практический интерес.

В связи с этим основная идея выполненной научно-исследовательской работы заключается в исследовании и разработке интенсивных способов принудительной карбонизации систем, состоящих из отходов содового производства – известковой пыли и мелкодисперсного известняка, и влияния их на формирование основных свойств, соответствующих для конструкционных строительных материалов и изделий, в зависимости от различных рецептурно-технологических факторов. С этой целью была проведена серия экспериментов, основные результаты которых приведены в данной статье.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве материалов для научных исследований использовали известковую пыль, механически осаждаемую в циклонах и рукавных фильтрах шахтных известковых печей, обжигающих известняк. Также использовали мелкодисперсный мраморовидный известняк фракцией до 5 мм, образующийся в процессе дробления и сортировки исходной горной породы на рабочую фракцию, направляемую в шахтную печь на обжиг.

Активность известковой пыли, определенная по стандартной методике испытания извести, составила 45 %, влажность 0,6 % мас., температура и время гашения составляют соответственно 41 °С и 47 мин.

Известковая пыль в заводских условиях складывается и хранится на открытой огороженной площадке навалом. Естественно полагать, что при таких условиях хранения часть содержащегося в ней свободного CaO гасится и переходит в Ca(OH)_2 . Количественные изменения фазового состава известковой пыли в зависимости от условий ее предварительной подготовки были исследованы с помощью синхронного TG-DTA анализа. Исследованию подвергали пробы в естественном состоянии и после гашения при разных условиях с

целью установления наличия в ней пережженных частиц СаО. Перед испытаниями пробы высушивали. Изменения фазового состава в

зависимости от условий предварительной подготовки известковой пыли представлены в таблице 1.

Таблица 1. Расчетный фазовый состав известковой пыли при различных условиях ее предварительной подготовки, % мас.

Table 1. Changes in the content of the main phases in lime dust under various conditions of its preliminary preparation (% wt).

№п/п	Условия подготовки известковой пыли	Ca(HCO ₃) ₂	Ca(OH) ₂	CaCO ₃
			(в пересчете на СаО)	
1	В естественном состоянии	3,4	40,3 (30,5)	32,5
2	После гашения	4,7	50,6 (38,3)	32,5
3	Гашеная и выдержанная в течение 120 мин	4,4	50,9 (38,5)	32,6
4	Гашеная и выдержанная в течение 420 мин	3,7	55,1 (41,7)	33,0
5	Гашеная и выдержанная в течение 420 мин с дополнительным кипячением	2,4	59,5 (45,0)	34,0

Анализ экспериментальных данных изменения минералогического состава известковой пыли в зависимости от условий ее подготовки показывает, что в естественном состоянии известковая пыль находится в гидратированном состоянии и содержит около 40 % Са(ОН)₂. В пересчете на СаО это составляет 30,5 %. TG-кривые пробы свежегашеной известковой пыли показывают, что содержание Са(ОН)₂ увеличивается, однако, по содержанию СаО видно, что в составе остается еще значительное количество непогасившихся пережженных частиц СаО. После гашения и дополнительного выдерживания продуктов гашения известковой пыли в течении 120 и 420 мин, а также после кипячения и выдерживания в течении 420 мин, согласно данным TG-DТА-кривых, количество Са(ОН)₂ с увеличением времени выдерживания возрастает до 55,1 %, а после кипячения увеличивается до 59,5 %. Исходя из результатов термического анализа, количество пережженных частиц СаО в известковой пыли составляет порядка 7 %. По данным анализа установлено, что

известковая пыль на треть состоит из карбоната кальция – частиц необоженного известняка. Кроме этого, известковая пыль в своем составе содержит примеси кремнезема (SiO₂) и несгоревшего каменного угля, проявляющегося на термограммах в виде экзотермических эффектов в диапазоне температур 350-400 °С. Всего примесей в исследованных пробах известковой пыли, содержится порядка 4 %.

Определение размера частиц известковой пыли в негашеном и гашеном состоянии (см. рис. 1) методом лазерной дифракции показало, что гранулометрический состав ее составляют частицы размером от 8 до 30 мкм, а после гашения получаемый материал содержит в основном частицы размером от 6 до 20 мкм. Средний геометрический размер частиц известковой пыли до и после гашения составляет соответственно 16,7 и 12,9 мкм. Учитывая столь малые размеры частиц известковой пыли, можно утверждать, что деструктивное действие пережженных частиц на свойства изделий, изготавливаемых на ее основе, будет минимальным.

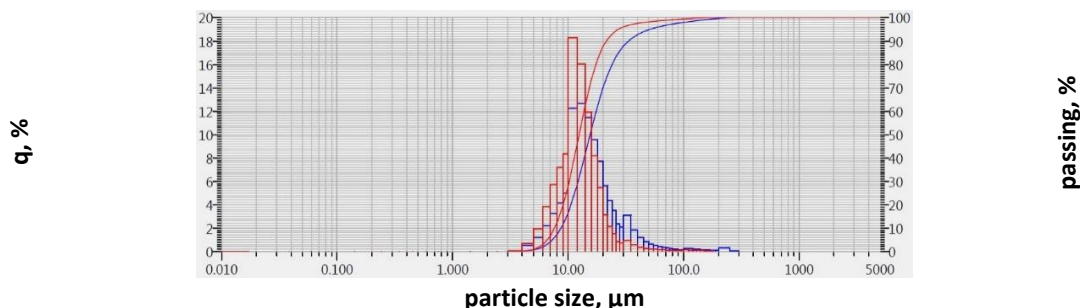


Рис. 1. Дисперсный состав и кривая полных остатков частиц известковой пыли:

— до гашения; — после гашения.

Fig. 1. Dispersion composition and curve of total lime dust particles: — before quenching; — after quenching.

В качестве мелкодисперсного известняка в работе использованы побочные продукты дробления и сортировки известняка Балаклавского месторождения (Крым) фракции до 5 мм, образующейся в процессе дробления и сортировки исходной горной породы на рабочую фракцию,

направляемую в шахтную печь на обжиг. Основные свойства и содержание основного порообразующего химического соединения карбоната кальция известняка представлены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристика известняка Балаклавского месторождения
Table 2. Characteristics of Balaklava deposit limestone

Плотность, г/см ³	Средняя плотность, г/см ³	Пористость, %	Марка по дробимости	Содержание CaCO ₃ , %
2,73	2,41	11,7	1000	94,8

Известняк Балаклавского месторождения относится к нуммулитовым частично перекристаллизованным (метаморфизированным) известнякам, представляет собой осадочную плотную и достаточно прочную горную породу. Термограмма известняка (см. рис. 2) имеет один

эндотермический эффект, соответствующий разложению карбоната кальция. Эндотермический эффект имеет два пика, что может свидетельствовать о незначительном содержании доломитизированного известняка.

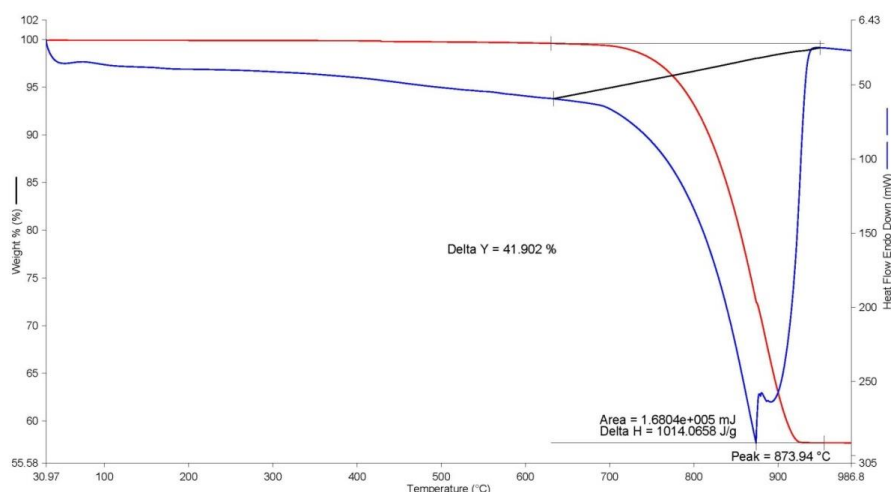


Рис. 2. Термограмма пробы известняка Балаклавского месторождения.

Fig. 2. Thermogram of Balaklava deposit limestone sample

В качестве источника углекислого газа в лабораторных исследованиях использовалась жидкая двуокись углерода высокого давления в баллонах.

Фазовый состав определяли с помощью высокотемпературного синхронного анализатора STA 8000 фирмы Perkin Elmer (США) в интервале температур 30-1000 °С при скорости нагрева 10 °С/мин, в среде азота. Размер частиц исследуемых материалов определяли на лазерном анализаторе HORIBA LA-960 (Япония).

Исследования проводили на образцах-цилиндрах, изготовленных способом полусухого прессования формовочной смеси, состоящей из тщательно перемешанных в скоростном миксере известковой пыли и мелкодисперсного известняка, прошедшего через сито с размером отверстий 1,25 мм. Водосодержание формовочных смесей составило 10 % мас. Данные значения обоснованы результатами предыдущих исследований авторов [21, 22, 24]. Составы формовочных смесей определены условиями эксперимента и

представлены ниже. Опытные образцы-цилиндры диаметром 30 мм формовали сдавливанием сырьевой смеси в металлических пресс-формах на гидравлическом прессе с имитацией двухстороннего встречного прессования. Соотношение диаметр / высота выдерживалось в пределах 1.

Принудительная карбонизация опытных образцов осуществлялась в разработанной авторами карбонизационной установке с автоматическим управлением и поддержанием в ней требуемой концентрации CO₂ [23]. Установка была дополнительно снабжена буферной емкостью для приготовления и поддержания постоянной концентрации газо-воздушных смесей CO₂.

Исследования комплексного влияния состава сырьевой смеси, факторов получения, а также режимов ускоренной карбонизации опытных образцов проводились с помощью статистических методов математического планирования эксперимента [25, 26]. Был принят рототабельный центральный композиционный план (РЦКП). При рототабельном центральном композиционном

планировании эксперимента точки плана располагаются на трех сферах: центральные точки (сфера нулевого радиуса), точки куба и «звездные точки». Рототабельные планы позволяют получать коэффициенты моделей, предсказывающие значения выходной величины объекта с одинаковой точностью во всех направлениях на одинаковом расстоянии от центра плана. Обработку полученных

экспериментальных данных проводили с помощью программного комплекса StatSoft STATISTICA. В результате обработки опытных данных формируются экспериментально-статистические (ЭС) модели каждого исследованного параметра, представляющие собой уравнения второго порядка следующего вида:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i z_i + \sum_{i;l=1}^n b_{il} z_i z_l + \sum b_{ii} z_i^2. \quad (1)$$

где b_0 , b_i , b_{ii} , b_{il} – коэффициенты корреляции, определяемые в результате математически-статистической обработки экспериментальных данных;

z_i , z_l – значение варьируемых рецептурно-технологических факторов.

Значимость коэффициентов корреляции ЭС моделей определялась с помощью критерия Стьюдента, проверка адекватности описания объекта уравнением второго порядка производилась с помощью F-критерия Фишера.

Были реализованы два четырехфакторных эксперимента, отличающиеся только способом принудительной карбонизации – динамичный (циклический) и статичный.

Принцип примененного динамичного способа карбонизации предполагал ускоренную карбонизацию известкового вяжущего в течение нескольких циклов. Один цикл карбонизации включал несколько последовательных операций: вакуумирование камеры с образцами, выдерживание в условиях разрежения, подачу углекислого газа в камеру карбонизации, выдерживание образцов в среде CO_2 определенной концентрации. Разрежение в камере составляло 5000 Па, предварительно подготовленную до нужной концентрации газо-воздушную смесь CO_2 подавали в камеру из буферной емкости. Газ, просачиваясь через поры изделия, возвращается в

буферную емкость, где доводится до нужной концентрации путем подачи необходимого количества CO_2 . Продолжительность одного цикла составляла 180 с.

Статичный способ карбонизации состоял в организации выдерживания опытных образцов в углекислотной газо-воздушной среде без создания разрежения в камере карбонизации. Продолжительность карбонизации опытных образцов соответствовала продолжительности карбонизации при динамичном способе.

Выбор факторов в эксперименте осуществлен с учетом выводов, полученных при анализе формирования структуры и свойств искусственного камня на основе извести карбонатного твердения [21, 22, 24]. Учитывая влияние множества факторов, влияющих на процесс карбонизации извести и формирование свойств материала на ее основе в настоящем эксперименте варьировались: концентрация CO_2 (Z_1), формовочное давление прессования опытных образцов-цилиндров (Z_2), содержание известковой пыли в составе известково-известняковой композиции в пересчете на $Ca(OH)_2$ (Z_3) и, непосредственно, режимы принудительной карбонизации, количество циклов и время воздействия CO_2 на опытные образцы (Z_4). Условия планирования эксперимента представлены в таблице 3.

Таблица 3. Условия проведения эксперимента
Table 3. Conditions of the experiment

Фактор	Единица измерения	Уровни варьирования				
		-2	-1	0	1	2
Z_1	%	5	20	35	50	65
Z_2	МПа	5	15	25	35	45
Z_3	% мас.	5	10	15	20	25
Z_4	к-во циклов / время, с	1 / 180	3 / 540	5 / 900	7 / 1260	9 / 1620

В качестве основных параметров опытных образцов анализировались: прочность на сжатие ($R_{сж}$), средняя плотность (ρ_0), водостойкость (K_p), водопоглощение по массе (W_m) и толщина карбонизированного слоя (δ).

Прочность на сжатие, среднюю плотность и водопоглощение по массе определяли по стандартным методикам для строительных материалов. Водостойкость опытных образцов, т.е.

способность материала сохранять свои эксплуатационные свойства при длительном воздействии воды, оценивали по так называемому коэффициенту размягчения, K_p , представляющему собой отношение прочности на сжатие образца в насыщенном водой состоянии, R^w к прочности материала на сжатие в сухом состоянии, R^d по формуле:

$$K_s = R^w / R^d. \quad (2)$$

Водостойкими считаются материалы, K_p у которых больше 0,8.

Толщину карбонизированного слоя, δ , определяли нанесением 1 %-го спиртового раствора фенолфталеина на скол опытного образца.

Перед испытаниями опытные образцы высушивались до нулевой влажности в сушильном шкафу при температуре 80 °С.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Экспериментальные данные свойств опытных образцов, карбонизируемых динамичным (1) и статичным (2) способами представлены в таблице 4.

Коэффициенты корреляции ЭС моделей, полученные в результате статистической обработки опытных данных, представлены в таблице 5.

Таблица 4. Свойства опытных образцов после карбонизации их динамичным (1) и статичным (2) способами

Table 4. Properties of testing samples after carbonation in dynamic (1) and static (2) ways

№ g	Фактор				Оптимизируемые параметры									
	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	R _{сж.} , МПа		ρ _о , г/см ³		K _p		W _m , %		δ, мм	
					1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	1	1	1	27,36	34,47	2,101	2,050	0,70	0,71	10,10	9,91	1,33	3,00
2	-1	1	1	1	19,81	15,40	2,063	2,064	0,65	0,70	10,44	10,53	2,67	3,33
3	1	-1	1	1	19,44	19,47	1,976	1,978	0,80	0,75	12,78	12,68	5,33	6,00
4	-1	-1	1	1	15,76	13,20	1,983	1,953	0,86	0,89	12,34	12,43	6,67	7,67
5	1	1	-1	1	20,29	26,17	2,174	2,211	0,87	0,70	9,01	9,20	6,00	7,67
6	-1	1	-1	1	15,66	16,73	2,142	2,150	0,72	0,70	9,44	9,34	3,00	3,67
7	1	-1	-1	1	13,83	14,03	2,095	2,104	0,85	0,85	11,71	11,80	12,00	12,33
8	-1	-1	-1	1	13,40	13,77	2,023	2,024	0,82	0,81	11,31	11,29	10,33	11,00
9	1	1	1	-1	21,80	19,87	2,066	2,018	0,59	0,62	10,56	10,66	4,00	4,17
10	-1	1	1	-1	23,50	22,77	2,065	2,066	0,59	0,60	10,18	10,22	2,33	2,83
11	1	-1	1	-1	14,34	15,33	1,966	1,952	0,73	0,68	12,50	12,68	6,67	6,67
12	-1	-1	1	-1	14,44	15,23	1,957	1,954	0,55	0,55	12,82	12,72	2,33	2,67
13	1	1	-1	-1	16,52	21,67	2,132	2,137	0,73	0,75	9,12	9,38	5,67	8,00
14	-1	1	-1	-1	15,66	17,57	2,149	2,154	0,63	0,63	9,48	9,34	7,00	6,00
15	1	-1	-1	-1	11,32	11,77	2,052	2,050	0,63	0,63	11,53	11,52	6,67	7,17
16	-1	-1	-1	-1	8,59	4,53	2,080	1,959	0,77	0,63	11,65	12,27	4,67	4,83
17	2	0	0	0	18,21	18,47	2,098	2,088	0,82	0,80	10,59	10,51	9,67	9,50
18	-2	0	0	0	13,49	10,67	2,083	2,120	0,59	0,65	11,19	11,77	3,00	3,33
19	0	2	0	0	19,06	18,23	2,170	2,149	0,72	0,75	9,06	9,13	3,33	2,67
20	0	-2	0	0	5,47	7,17	1,827	1,907	0,79	0,73	15,05	14,81	9,67	9,33
21	0	0	2	0	19,91	20,20	1,987	1,988	0,65	0,65	11,96	11,74	2,67	3,17
22	0	0	-2	0	11,51	12,37	2,144	2,154	0,76	0,75	10,00	9,80	9,33	9,17
23	0	0	0	2	20,19	22,73	2,077	2,074	0,58	0,71	10,63	11,17	5,33	5,17
24	0	0	0	-2	11,32	9,27	2,043	1,960	0,67	0,58	11,03	11,60	3,00	2,67
25	0	0	0	0	19,16	13,67	2,063	2,034	0,63	0,67	10,42	11,00	3,33	4,00
26	0	0	0	0	19,96	12,67	2,078	2,052	0,72	0,68	10,55	10,74	4,67	4,83
27	0	0	0	0	18,68	13,60	2,072	2,047	0,72	0,64	10,31	10,50	4,33	4,67
28	0	0	0	0	19,01	13,73	2,073	2,051	0,65	0,64	10,39	10,55	4,33	4,17
29	0	0	0	0	18,85	13,63	2,075	2,023	0,69	0,65	10,45	10,71	4,33	4,17
30	0	0	0	0	18,95	13,37	2,065	2,047	0,68	0,63	10,31	10,47	3,33	3,67
31	0	0	0	0	19,20	13,63	2,075	2,049	0,69	0,66	10,34	10,53	4,00	4,33

Коэффициенты ЭС моделей позволяют оценить влияние варьирования каждого из изучаемых технологических факторов на свойства карбонизированных образцов-цилиндров. Анализ коэффициентов корреляции выведенных ЭС

моделей при рассмотрении различных комбинаций технологических факторов, влияющих на формирование структуры и свойств исследуемых материалов карбонатного типа твердения, позволяет проанализировать факторы, определяющие каждое

свойство на отдельно выделенном технологическом этапе. По величине изменения коэффициентов корреляции на различных этапах технологии можно судить о роли и степени влияния различных

факторов на процессы формирования свойств опытных образцов в зависимости от состава формовочной смеси, условий формирования образцов-цилиндров и карбонизации их.

Таблица 5. Коэффициенты корреляции ЭС моделей изменения основных свойств опытных образцов, полученных динамичным (1) и статичным (2) способами
Table 5. Correlation coefficients of ES models of changes in basic properties of testing samples obtained by dynamic (1) and static (2) carbonation methods

Обозначение коэффициентов	Коэффициенты ЭС моделей исследуемых параметров в зависимости от способа карбонизации									
	$R_{сж}$, МПа		ρ_0 , г/см ³		K_p		W_m , % мас.		δ , мм	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
b_0	18,97	23,04	2,072	2,043	0,68	0,66	9,97	10,64	4,05	4,26
b_1	1,15	2,47	0,005	±0	0,03	0,02	-0,06	-0,12	0,92	1,06
b_2	3,195	3,73	0,060	0,057	-0,03	-0,01	-1,26	-1,26	-1,47	-1,38
b_3	2,42	1,88	-0,041	-0,045	-0,03	-0,02	0,52	0,48	-1,56	-1,51
b_4	1,55	2,14	0,007	0,020	0,04	0,05	-0,06	-0,10	0,53	0,72
b_{11}	-0,43	0,84	0,006	0,015	0,01	0,02	-0,19	0,07	0,52	0,61
b_{22}	-1,33	0,37	-0,017	±0	0,02	0,02	-0,48	0,28	0,56	0,51
b_{33}	-0,47	1,27	±0	±0	0,01	0,01	0,21	±0	0,43	0,55
b_{44}	-0,46	1,2	±0	-0,007	-0,01	±0	0,17	0,13	±0	±0
b_{12}	0,29	0,99	±0	-0,013	0,02	0,01	-0,07	±0	-0,29	±0
b_{13}	0,05	±0	±0	-0,016	±0	-0,01	0,04	±0	±0	±0
b_{14}	0,91	1,66	0,011	±0	±0	-0,02	0,03	±0	-0,29	±0
b_{23}	0,47	-0,55	0,004	-0,010	-0,02	-0,01	±0	±0	±0	±0
b_{24}	-0,51	±0	-0,003	±0	-0,02	-0,04	±0	±0	-1,25	-1,19
b_{34}	-0,18	±0	0,003	±0	±0	0,01	±0	±0	-0,42	±0

Полученные опытные данные и коэффициенты корреляции ЭС моделей свидетельствуют о существенной разнице влияния способов организации карбонатного твердения на формирование основных свойств образцов на основе известковой пыли и мелкодисперсного известняка. Причем говорить об однозначности влияния способов очень сложно. В целом, оценивая коэффициент b_0 , можно сказать, что динамичный способ карбонизации систем на основе известки ускоряет процесс карбонатного твердения и, соответственно, формирование исследуемых свойств материала. Так у образцов, карбонизация которых организована была в динамичном режиме, начальные показатели прочности на сжатие, средней плотности и водостойкости выше, а показатель водостойкости ниже, чем у образцов, карбонизация которых проходила в статичном режиме. При этом следует отметить, что толщина карбонизированного слоя у образцов, карбонизированных динамично, меньше, чем у образцов, карбонизированных в статичном режиме.

Оценка влияния отдельных технологических факторов показывает, что значимость их влияния на формирование свойств материалов на основе известки карбонизационного твердения в зависимости от выбранного способа организации искусственной карбонизации различна. Так если при динамичном способе карбонизации (модель 1), наиболее влияющими можно назвать факторы получения опытных образцов, т.е., давление прессования (Z_2) и содержание известковой пыли (Z_3), то при статичном способе (модель 2) наряду с

основным фактором Z_2 , большую определяющую значимость приобретают факторы, отвечающие непосредственно за процесс карбонизационного твердения, – это концентрация CO_2 (Z_1) и время карбонизации (Z_4).

Графическая обработка полученных ЭС моделей позволила получить множество поверхностей отклика изменения исследуемых параметров от варьируемых факторов при их совместном влиянии в различном сочетании (см. рис. 3-10).

Анализируя экспериментально-расчетные результаты формирования прочности на сжатие опытных образцов в зависимости от исследуемых факторов (см. рис. 3 и 4) следует отметить различный характер поверхностей отклика. Так при динамичном способе карбонизации образцов-цилиндров поверхности отклика имеют куполообразную форму, подобно выпуклой параболе, имеющую область точек, достигающих максимальных значений $R_{сж}$, а при статичном способе карбонизации поверхности отклика, наоборот, несколько вогнута, напоминающая график степенной функции, по которой прочность на сжатие возрастает с увеличением варьируемых факторов. Такие характерные отличия поверхностей отклика свидетельствуют, что при динамичном способе процесс карбонизации протекает более интенсивно, чем при статичном способе, однако, оценка абсолютных значений показателя $R_{сж}$ показывает, что при статичном способе прочность на сжатие карбонизированных образцов-цилиндров при продолжительном выдерживании их в среде с

повышенной концентрацией CO_2 существенно выше и имеет тенденцию к дальнейшему росту.

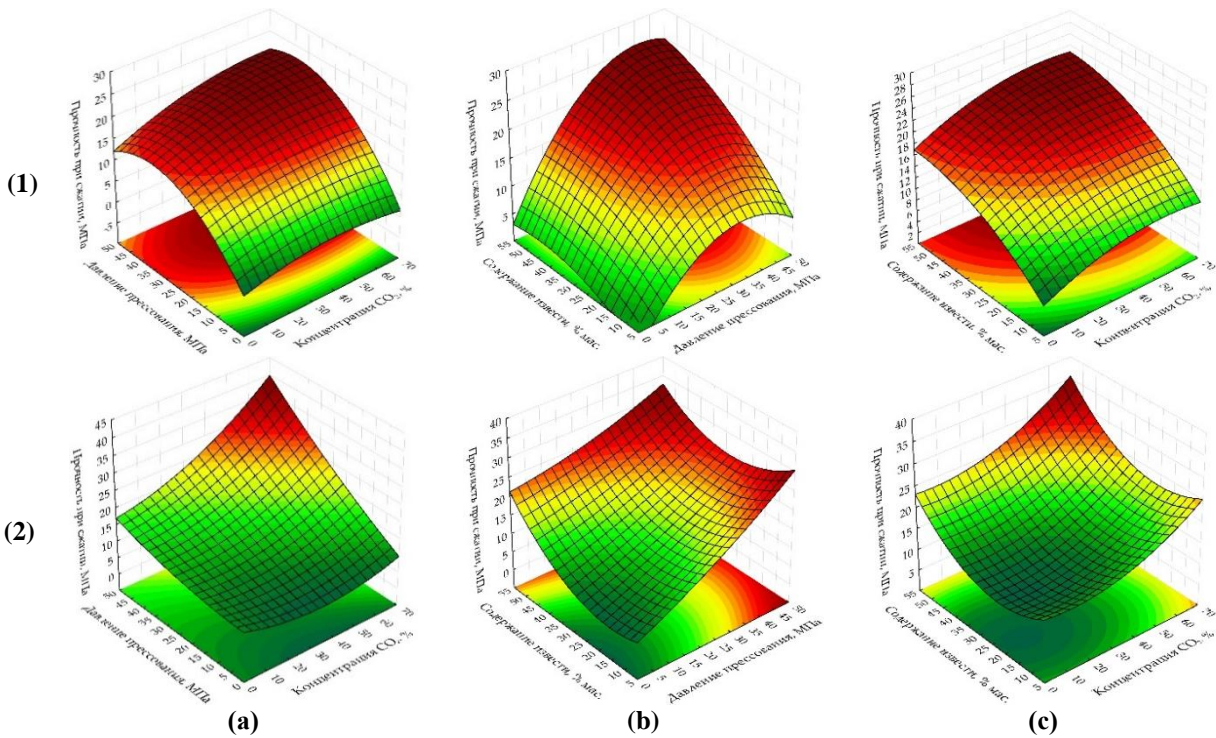


Рис. 3. Поверхности отклика изменения прочности на сжатие опытных образцов, карбонизированных динамичным (1) и статичным (2) способами в зависимости от: формовочного давления прессования и концентрации CO_2 (a), содержания известковой пыли и формовочного давления прессования (b), содержания известковой пыли и концентрации CO_2 (c) при нулевом уровне варьирования остальных факторов.

Fig. 3. Compressive strength response surfaces of testing samples carbonated by dynamic (1) and static (2) methods depending on: (a) pressing pressure; (b) lime dust content; (c) CO_2 concentration (at zero level of variation of other factors).

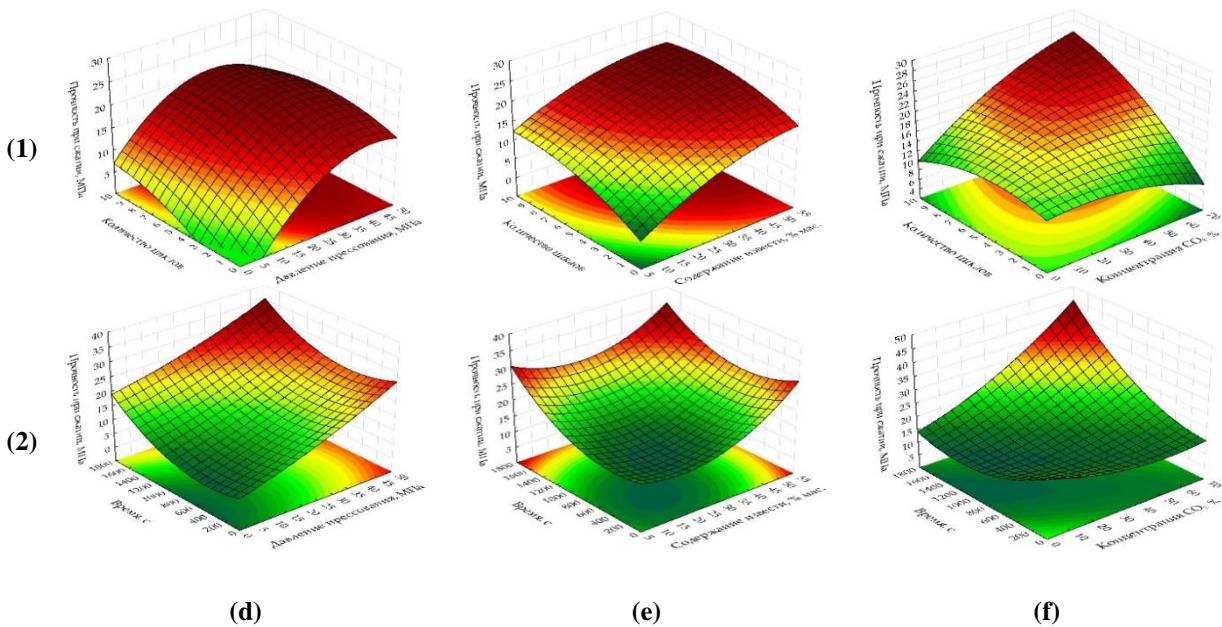


Рис. 4. Поверхности отклика изменения прочности на сжатие опытных образцов, карбонизированных динамичным (1) и статичным (2) способами в зависимости от количества циклов / времени карбонизации и формовочного давления прессования (a), содержания известковой пыли (b) и концентрации CO_2 (c) при нулевом уровне варьирования остальных факторов.

Fig. 4. Compressive strength response surfaces of testing samples carbonated by dynamic (1) and static (2) methods depending on a number of cycles/time of carbonation and: (a) pressing pressure; (b) lime dust content; (c) CO_2 concentration (at zero level of variation of other factors).

Поверхности отклика изменения средней плотности карбонизированных образцов (см. рис. 5

и б) показывают, что в независимости от способов карбонизации показатель ρ_0 опытных образцов

увеличивается с уменьшением количества известковой пыли и увеличением формовочного давления прессования за счет формирования на этапе изготовления более плотной структуры материала образцов-цилиндров и, практически, не изменяется при варьировании концентрации CO₂. Средняя плотность, как и прочность на сжатие

опытных образцов увеличивается интенсивнее при динамичном способе карбонизации, но абсолютные значения показателя ρ_0 с увеличением продолжительности выдерживания образцов в углекислотной воздушно-газовой среде выше у образцов, карбонизация которых проходила в статичном режиме.

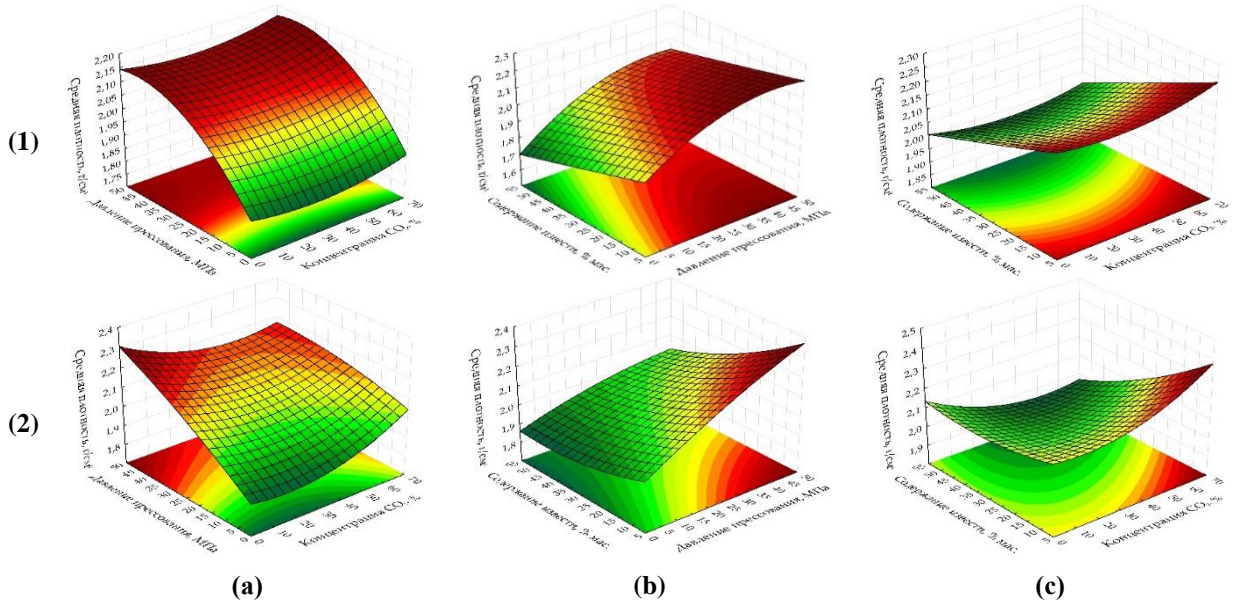


Рис. 5. Поверхности отклика изменения средней плотности опытных образцов, карбонизированных динамичным (1) и статичным (2) способами в зависимости от: формовочного давления прессования и концентрации CO₂ (a), содержания известковой пыли и формовочного давления прессования (b), содержания известковой пыли и концентрации CO₂ (c) при нулевом уровне варьирования остальных факторов.

Fig. 5. Response surfaces of changes in the average density of testing samples carbonated by dynamic (1) and static (2) methods, depending on: (a) the forming pressure of pressing and concentration of CO₂; (b) the content of lime dust and forming pressure pressing; (c) the content of lime dust and concentration of CO₂ (at zero level of variation of other factors).

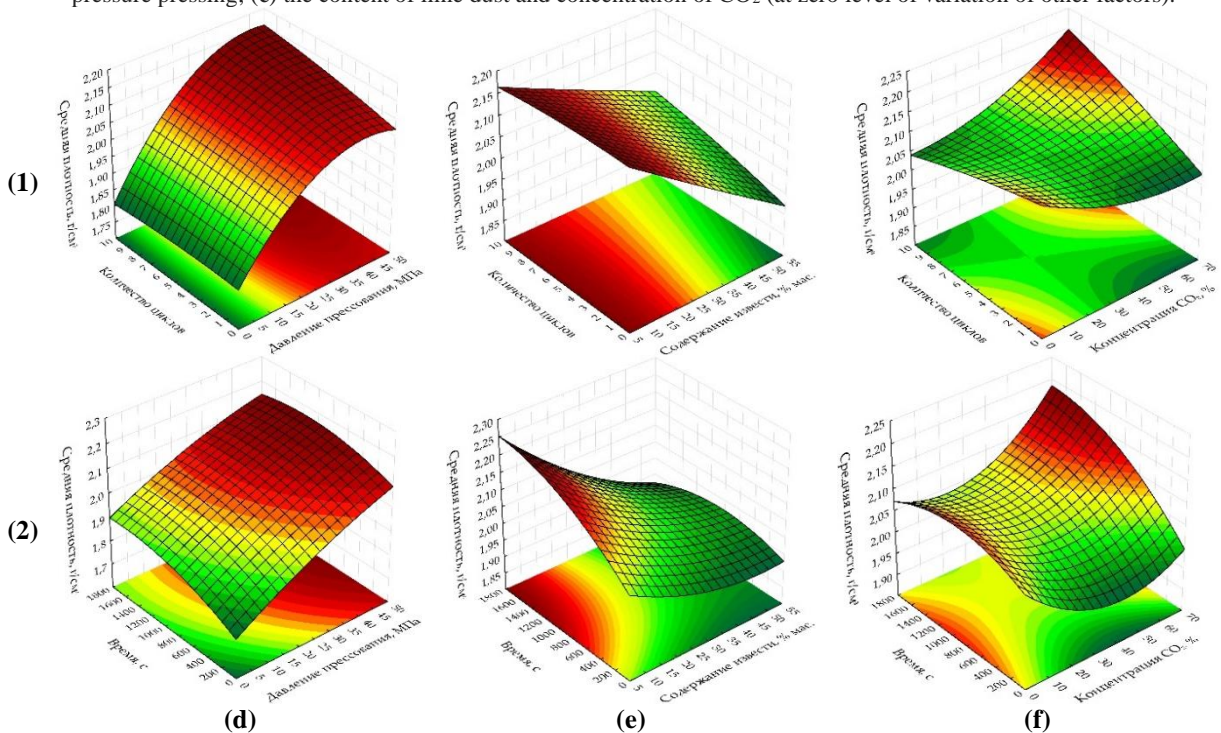


Рис. 6. Поверхности отклика изменения средней плотности опытных образцов, карбонизированных динамичным (1) и статичным (2) способами в зависимости от количества циклов / времени карбонизации и формовочного давления прессования (a), содержания известковой пыли (b) и концентрации CO₂ (c) при нулевом уровне варьирования остальных факторов.

Fig. 6. Response surfaces to changes in the average density of testing samples carbonated by dynamic (1) and static (2) methods depending on the number of cycles/carbonation time and: (a) pressing pressure; (b) lime dust content; (c) CO₂ concentration (at zero level of variation of other factors).

Области на графиках, при которых опытные образцы достигают значений, при которых их можно считать водостойкими, т.е. $K_S \geq 0,8$, незначительны (см. рис. 7 и 8) в независимости от способов карбонизации. Водостойкостью обладают в основном карбонизированные образцы-цилиндры, полученные при формовочных давлениях прессования до 10 МПа, а также образцы, содержащие минимальное количество известковой пыли (Ca(OH)₂) в составе формовочных смесей. Вероятнее всего, водостойкость зависит от степени карбонизации, содержащегося в них Ca(OH)₂, которая при вышеуказанных условиях и при принятых временных факторах характеризуется максимальными значениями K_p .

Ввиду вышесказанного логичным является и то, что с увеличением продолжительности карбонизации (см. рис. 8) увеличивается и показатель водостойкости опытных образцов. Причем более стабильный рост данного показателя

наблюдается у образцов, получаемых при статичном режиме принудительной карбонизации. При динамичном способе карбонизации значения K_S , соответствующие водостойким материалам, достигаются раньше. Например, при минимальных содержаниях известковой пыли (см. рис. 8 (f)) материал с $K_p \geq 0,8$ можно получить на пятом цикле, а при статичном способе карбонизации аналогичный показатель достигается, примерно, через 1400 с выдерживания в среде CO₂, что соответствует восьми циклам при динамичном способе принудительной карбонизации. Исходя из полученных результатов, можно утверждать, что водостойкость карбонизированных материалов зависит от степени карбонизации известковой составляющей, которая, в свою очередь, зависит от начальной плотности структуры и времени карбонизации образцов на основе известковой пыли и мелкодисперсного известняка.

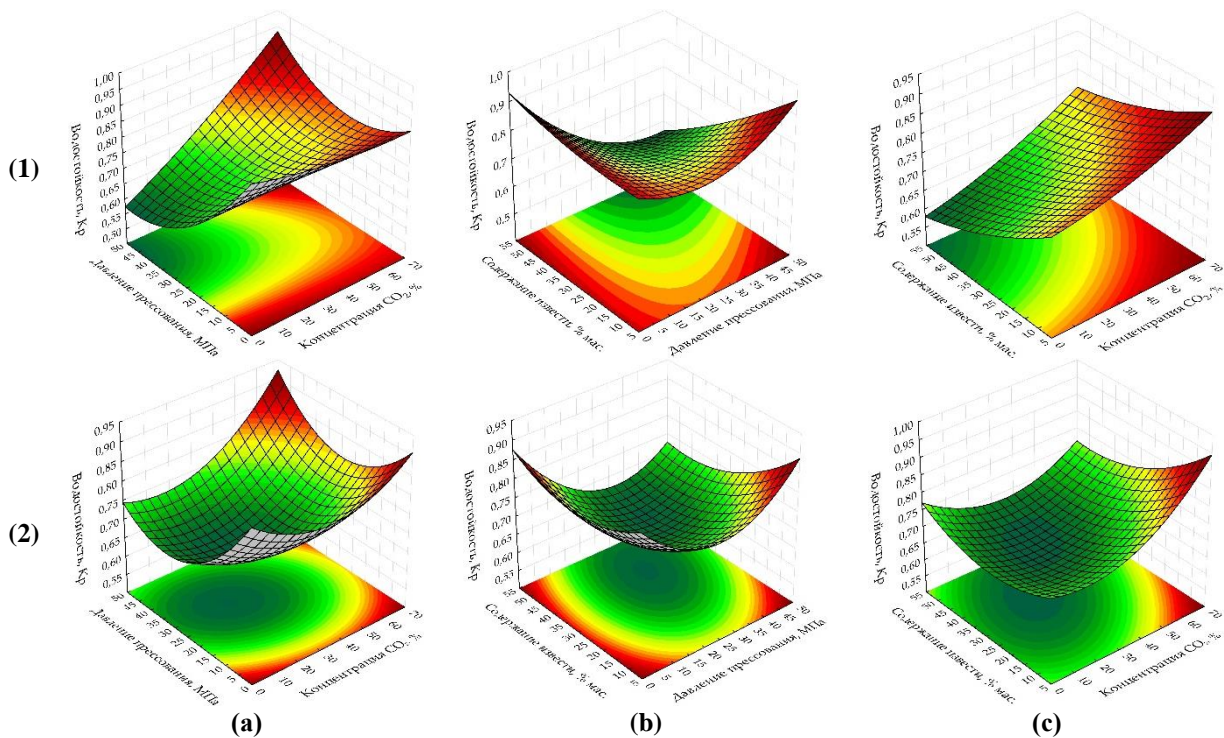


Рис. 7. Поверхности отклика изменения показателя водостойкости опытных образцов, карбонизированных динамичным (1) и статичным (2) способами в зависимости от: формовочного давления прессования и концентрации CO₂ (a), содержания известковой пыли и формовочного давления прессования (b), содержания известковой пыли и концентрации CO₂ (c) при нулевом уровне варьирования остальных факторов.

Fig. 7. Response surfaces to changes in the water-resistance of testing samples carbonated by dynamic (1) and static (2) methods, depending on: (a) pressing pressure and CO₂ concentration; (b) the lime dust content and pressing pressure; (c) the lime dust content and CO₂ concentration (at zero level of variation of other factors).

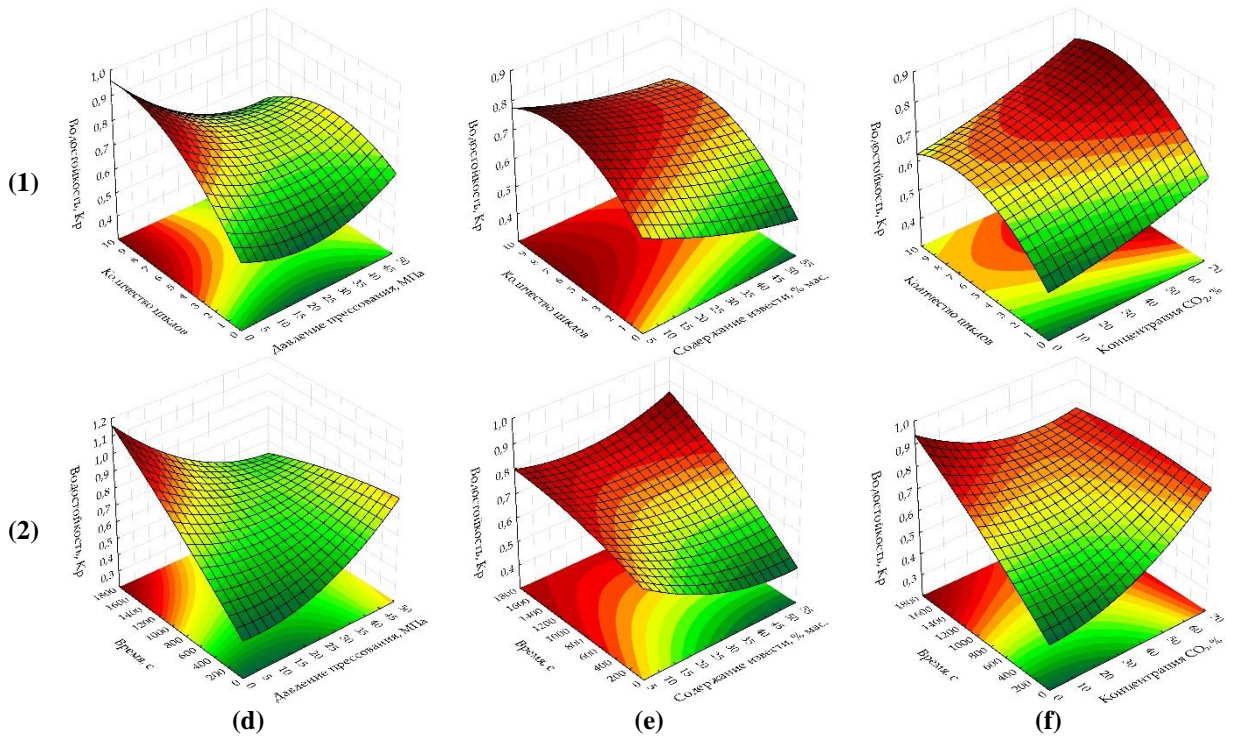


Рис. 8. Поверхности отклика изменения показателя водостойкости опытных образцов, карбонизированных динамичным (1) и статичным (2) способами в зависимости от количества циклов / времени карбонизации и формовочного давления прессования (а), содержания известковой пыли (б) и концентрации CO₂ (с) при нулевом уровне варьирования остальных факторов.

Fig. 8. Response surfaces to changes in the water-resistance of testing samples carbonated by dynamic (1) and static (2) methods, depending on the number of cycles/time of carbonation and: (a) pressing pressure; (b) lime dust content; (c) CO₂ concentration (at zero level of variation of other factors).

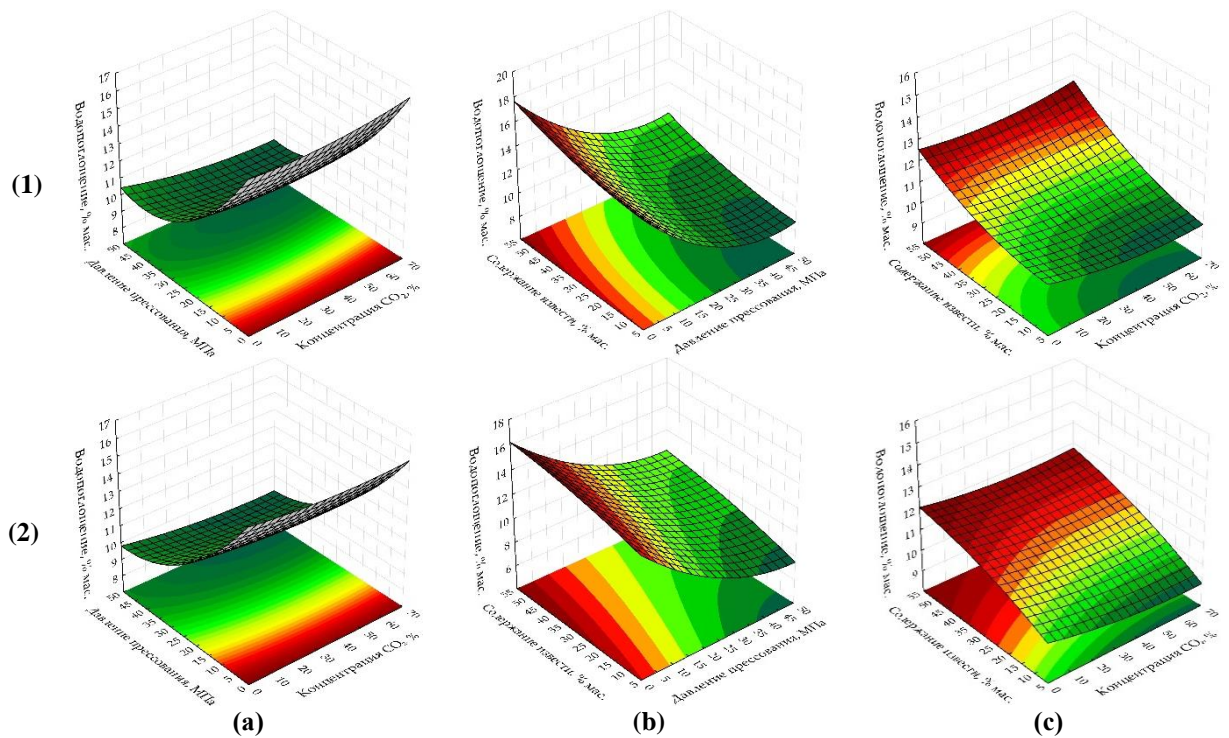


Рис. 9. Поверхности отклика изменения водопоглощения по массе опытных образцов, карбонизированных динамичным (1) и статичным (2) способами в зависимости от: формовочного давления прессования и концентрации CO₂ (а), содержания известковой пыли и формовочного давления прессования (б), содержания известковой пыли и концентрации CO₂ (с) при нулевом уровне варьирования остальных факторов.

Fig. 9. Response surfaces of changes in water absorption by mass of testing samples carbonated by dynamic (1) and static (2) methods, depending on: (a) the molding pressure and the concentration of CO₂; (b) the content of lime dust and molding pressure; (c) the content of lime dust and the concentration of CO₂ (at zero level of variation of other factors).

Опытно-расчетные данные изменения водопоглощения по массе образцов-цилиндров на основе известковой пыли и мелкодисперсного известняка (см. рис. 9 и 10) показывают, что минимально достижимые показатели этого параметра в зависимости от варьируемых факторов в эксперименте находятся в интервале от 9 до 10 % мас. В отличие от показателя водостойкости, максимальные значения которого достигаются при наименьших усилиях формования опытных образцов, минимальные значения водопоглощения опытных образцов, наоборот, достигаются при максимальных усилиях прессования опытных

образцов. W_m уменьшается также с уменьшением содержания известковой пыли в составе исследуемых образцов, т.е. самого дисперсного сырьевого компонента, создающего мелкие открытые поры в образцах, способствующих миграции воды и их водонасыщения. Изменение режимов принудительной карбонизации опытных образцов не изменяет общих закономерной изменения водопоглощения образцов, но следует отметить, что при статичном режиме при равнозначных условиях варьирования факторов показатели W_m меньше на 1-1,5 % мас.

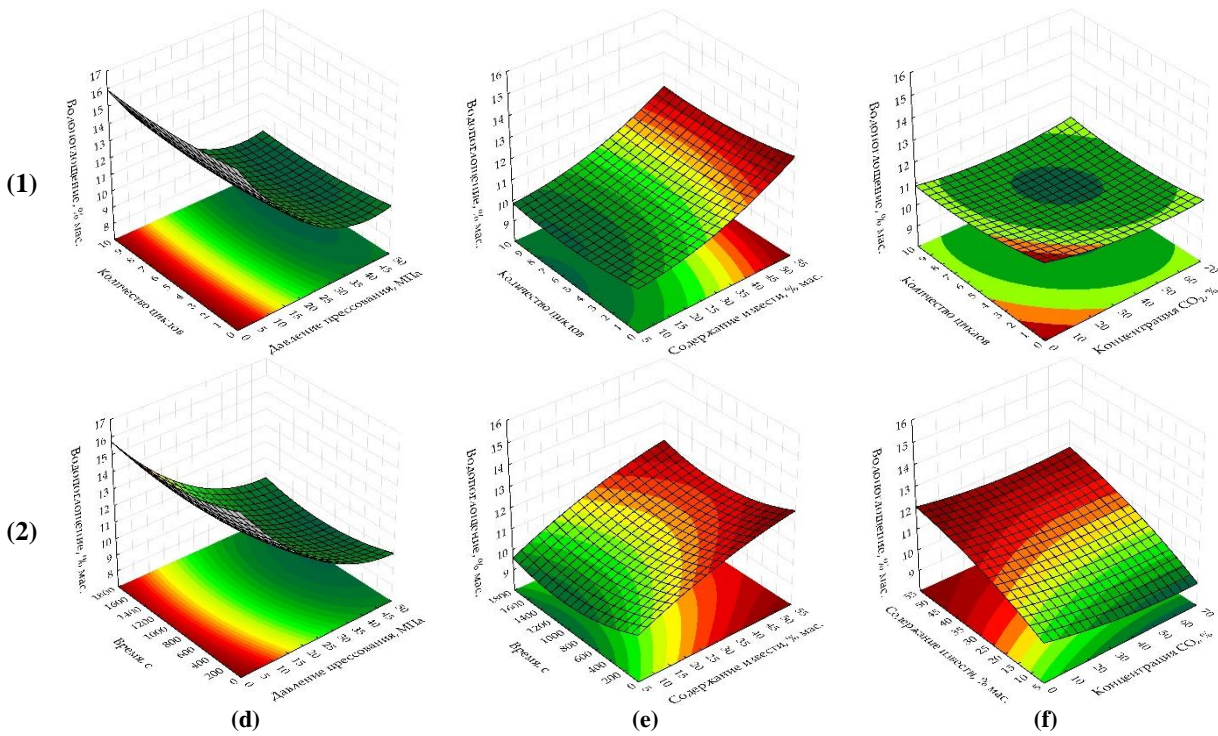


Рис. 10. Поверхности отклика изменения водопоглощения по массе опытных образцов, карбонизированных динамичным (1) и статичным (2) способами в зависимости от количества циклов / времени карбонизации и формовочного давления прессования (а), содержания известковой пыли (б) и концентрации CO₂ (с) при нулевом уровне варьирования остальных факторов.

Fig. 10. Response surfaces to changes in water absorption by mass of testing samples carbonated by dynamic (1) and static (2) methods, depending on the number of cycles/carbonation time and: (a) pressing pressure; (b) lime dust content; (c) CO₂ concentration (at zero level of variation of other factors).

Анализ поверхностей отклика формирования карбонизированного слоя опытных образцов (см. рис. 11 и 12) показывает, что их характер изменения очень схож с поверхностями отклика изменения водостойкости (см. рис. 7 и 8). Это свидетельствует, что водостойкость материалов, твердеющих за счет принудительной карбонизации, определяет толщина формируемого карбонизированного слоя, по величине которого косвенно можно судить о степени карбонизации известковой составляющей в опытных образцах (см. рис. 13). Величина формируемого

карбонизированного слоя зависит от факторов, определяющих начальную структуру исследуемых известково-известняковых образцов, – содержание известковой пыли и формовочного давления прессования. Так с уменьшением содержания известковой пыли и формовочного давления прессования, т.е. при условиях, когда создается наименее плотная начальная структура материала, образец карбонизируется практически полностью (рис. 13 (а)).

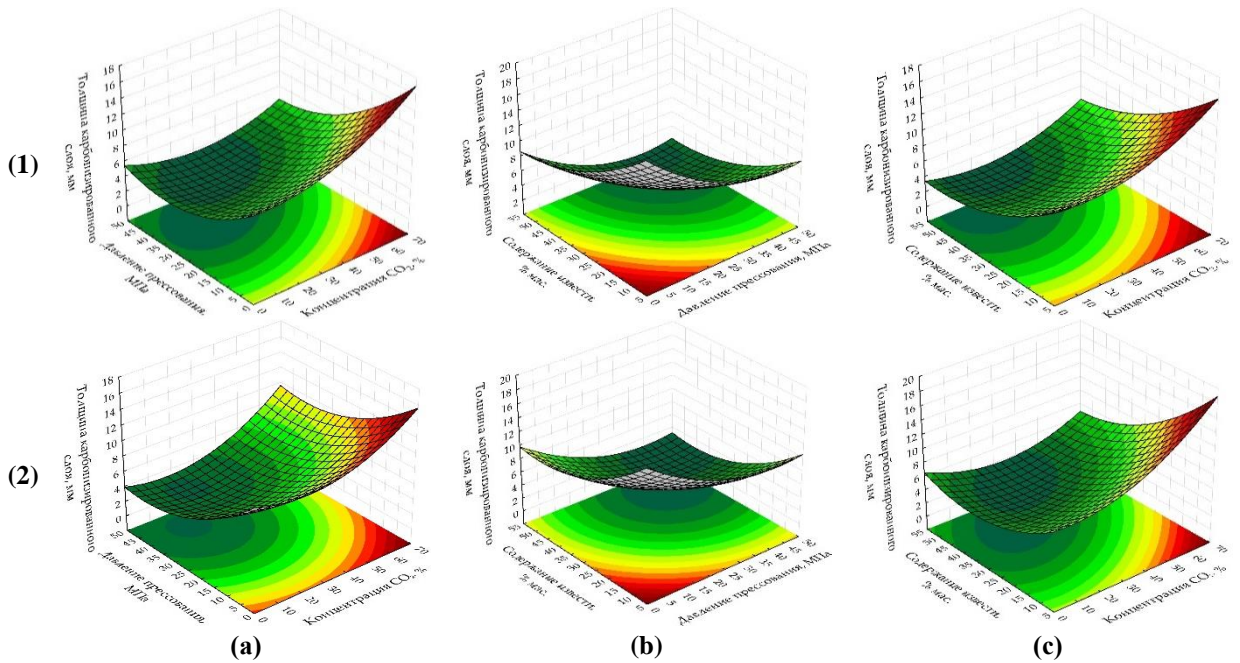


Рис. 11. Поверхности отклика изменения толщины карбонизированного слоя опытных образцов, карбонизированных динамичным (1) и статичным (2) способами в зависимости от: формовочного давления прессования и концентрации CO_2 (а), содержания известковой пыли и формовочного давления прессования (б), содержания известковой пыли и концентрации CO_2 (с) при нулевом уровне варьирования остальных факторов.

Fig. 11. Response surfaces to changes in the thickness of the carbonated layer of testing samples carbonated by dynamic (1) and static (2) methods, depending on: (a) the molding pressure and the concentration of CO_2 ; (b) the content of lime dust and molding pressure pressing; (c) the content of lime dust and the concentration of CO_2 (at zero level of variation of other factors).

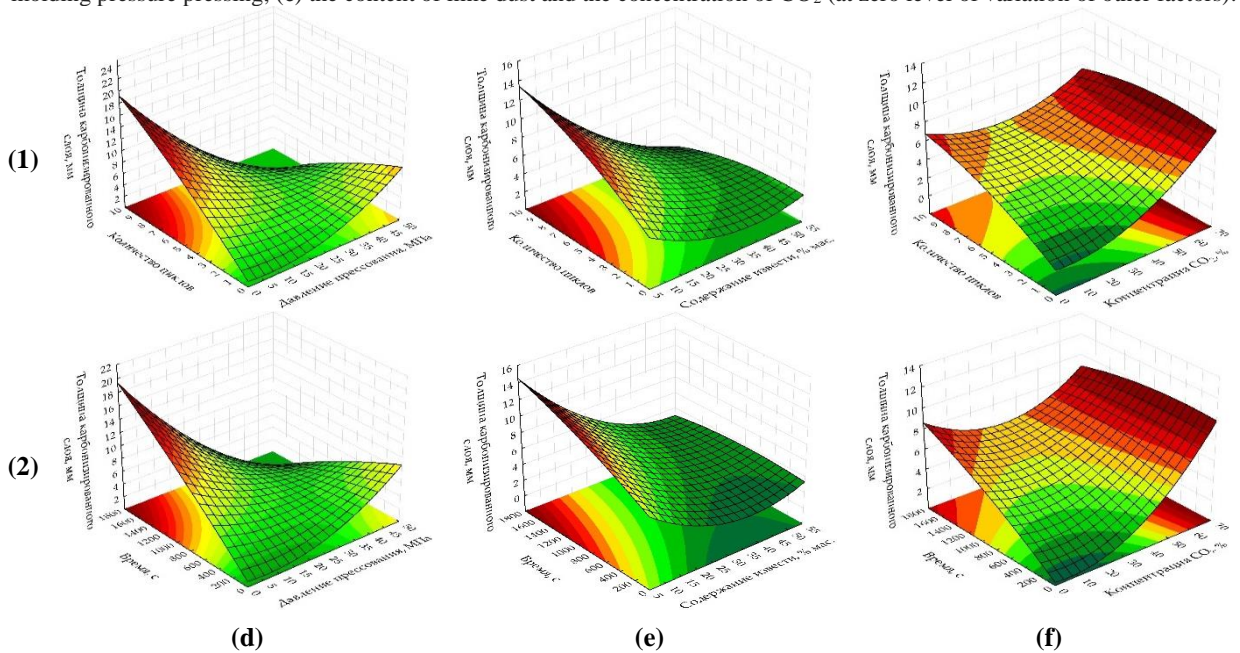


Рис. 12. Поверхности отклика изменения толщины карбонизированного слоя опытных образцов, карбонизированных динамичным (1) и статичным (2) способами в зависимости от количества циклов / времени карбонизации и формовочного давления прессования (а), содержания известковой пыли (б) и концентрации CO_2 (с) при нулевом уровне варьирования остальных факторов.

Fig. 12. Response surfaces to changes in the thickness of the carbonated layer of samples carbonated by dynamic (1) and static (2) methods, depending on the number of cycles/time of carbonation and: (a) forming pressure of pressing; (b) lime dust content; (c) concentration of CO_2 (at zero level of variation of other factors).

Кроме содержания известковой пыли и формовочного давления прессования, формирование карбонизированного слоя в значительной степени зависит от времени принудительной карбонатной обработки образцов-цилиндров и концентрации CO_2 в газо-воздушной

смеси, подаваемой в камеру карбонизации. С увеличением продолжительности карбонизационной обработки и увеличением количества углекислого газа в газо-воздушной смеси карбонизированный слой неизменно увеличивается (см. рис. 12). При этом, абсолютные

значения толщины карбонизированного слоя, формируемого в опытных образцах при динамичном и статичном способе их принудительной карбонизации, практически одинаковы, а главным технологическим фактором, формирующим слой, является время принудительной карбонизации. Несколько увеличенные значения δ , которые наблюдаются у опытных образцов, полученных при статичном режиме карбонизации, можно отнести к более продолжительному контакту образцов с CO_2 за счет их непрерывного выдерживания образцов в газовой среде CO_2 тогда, как при динамичном способе, за счет циклической подачи газовой смеси в камеру карбонизации, общее время контакта образцов с CO_2 было не на много, но все же меньше. На фотографиях на рис. 13 показан карбонизированный слой, образовавшийся в опытных образцах в результате их принудительной карбонизации при разных режимах. Карбонизированный слой определяли на расколотых пополам образцах-цилиндрах нанесением на скол спиртового раствора фенолфталеина. Визуальный осмотр окрашенных фенолфталеином сколов образцов показывает, что

образование карбонатного камня, составляющего карбонизированный слой, начинается с поверхности образцов, постепенно продвигаясь вглубь с диффузионным ограничением углекислого газа, причем толщина слоя не одинакова в приповерхностной области образцов. В нижней части опытных образцов карбонизированный слой практически отсутствует. Это можно объяснить зависимостью процесса карбонизации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ от влажности. Известно [22,24,27-29], что при высокой влажности системы химическая реакция карбонизации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ останавливается. В условиях эксперимента, вода, выделяющаяся в результате интенсивной карбонизации опытных образцов, скапливалась в нижней части и препятствовала прохождению реакции карбонизации в этой области образцов. В этой связи, одним из необходимых условий организации принудительного карбонатного твердения изделий является обеспечение в камерах карбонизации интенсивного удаления влаги, как из образцов, так и из самой камеры, например, «проветриванием» камеры потоком газовой смеси с постоянной концентрацией CO_2 .

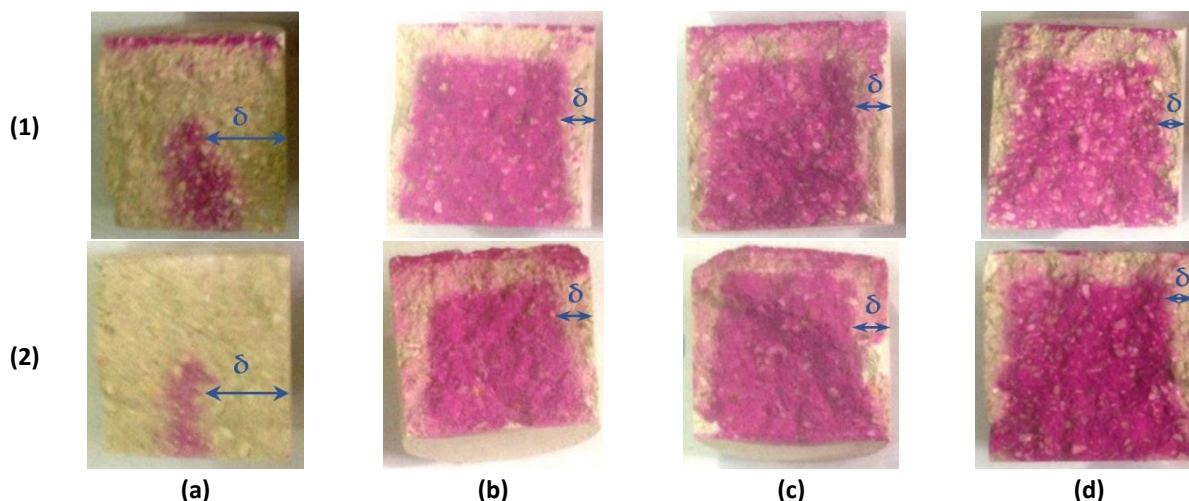


Рис. 13. Толщина карбонизированного слоя опытных образцов, полученных при динамичном (1) и статичном (2) режимах принудительной карбонизации при выполнении эксперимента: точка 7 (а) плана эксперимента; точка 9 (b); точка 16 (c); точка 25 (d).

Fig. 13. The thickness of the carbonated layer of testing samples obtained under dynamic (1) and static (2) modes of forced carbonation during the experiment: (a) point 7 of the experiment design; (b); point 9; (c) point 16; (d) point 25.

Визуальный анализ сколов образцов позволил также определить, что при близких значениях величины δ глубина проникновения CO_2 в зависимости от режимов принудительной карбонизации образцов-цилиндров отличается. Так у образцов, карбонизированных динамичным способом, внутренняя не карбонизированная часть после нанесения на нее спиртового раствора фенолфталеина имеет более бледный окрас в сравнении с образцами, карбонизированными статичным способом. Это может свидетельствовать о более глубоком проникании вглубь образца углекислого газа при организации принудительной карбонизации в динамичном (циклическом) режиме.

Следует отметить, что несмотря на четкие границы, карбонизированный слой не отслаивается от не закарбонизированной части образца, представляя собой прочный разнородный конгломерат.

Как видно из представленных экспериментально-расчетных результатов исследования различных способов принудительной карбонизации систем, состоящих из отходов содового производства – известковой пыли и мелкодисперсного известняка, и влияния их на формирование основных свойств получаемого строительного материала в зависимости от варьируемых рецептурно-технологических факторов, однозначно интерпретировать их

довольно сложно. Имеет смысл рассмотреть процесс формирования основных свойств материалов карбонатного твердения в зависимости от интенсивности их принудительной карбонизации более комплексно, объединив максимальное количество факторов.

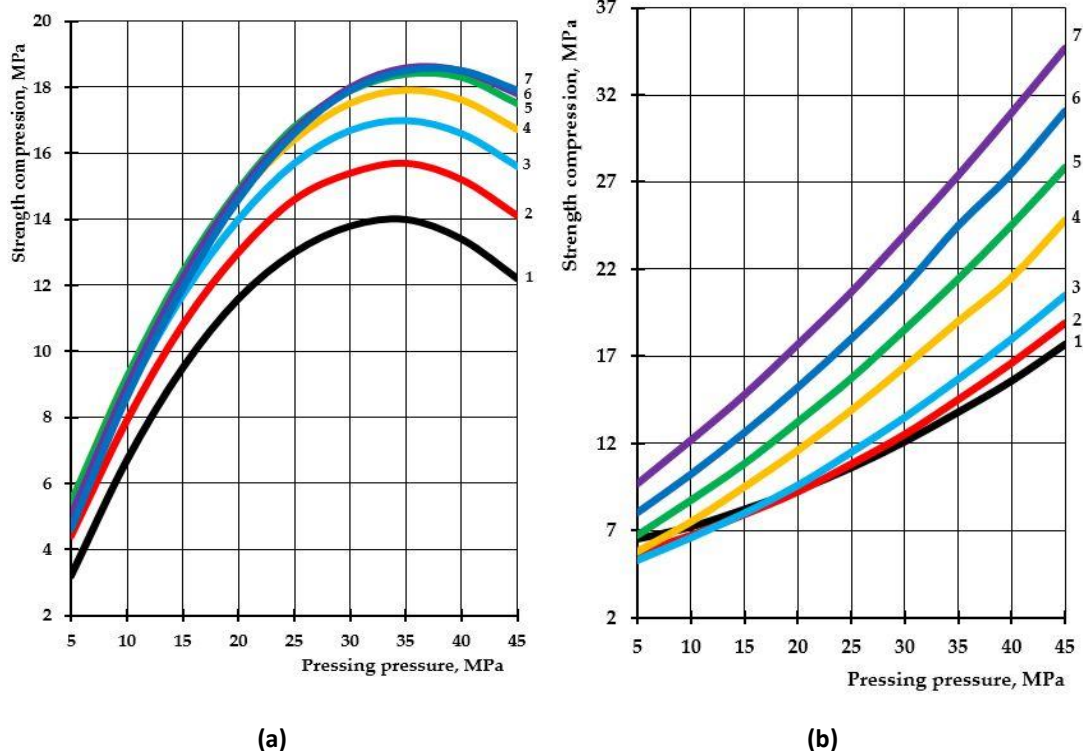


Рис. 14. Изменение прочности на сжатие опытных образцов, изготовленных из сырьевой смеси, содержащей 22 % мас. известковой пыли (в пересчете на $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – 10 % мас.), карбонизированных динамичным (а) и статичным (б) способами в течение 5-ти циклов / 900 с, в зависимости от формовочного давления прессования и концентрации CO_2 , %: 1 – 10; 2 – 20; 3 – 30; 4 – 40; 5 – 50; 6 – 60; 7 – 65.

Fig. 14. Change in compressive strength of testing samples made from a raw mix containing 22% wt. of lime dust (equivalent to $\text{Ca}(\text{OH})_2$ —10% wt.) carbonated by: (a) dynamic and (b) static methods, during 5 cycles / 900 s, depending on the forming pressure of pressing and concentration of CO_2 , %: 1—10; 2—20; 3—30; 4—40; 5—50; 6—60; 7—65.

При динамичном способе принудительного карбонатного твердения (см. рис. 14 (a)) прочность на сжатие опытных образцов увеличивается при увеличении концентрации CO_2 в газо-воздушной смеси до 50 %, дальнейшее увеличение концентрации CO_2 до 65 % практически не влияет на изменение R_c . Прослеживается определенная закономерность зависимости R_c опытных образцов от формовочного давления прессования. Можно предположить, что с дальнейшим повышением концентрации CO_2 прочность на сжатие будет снижаться из-за развивающейся коррозии и растворения новообразованных кристаллов CaCO_3 согласно исследованиям O. Cizer и др. [27, 30-32]. Согласно экспериментальным данным прочность на сжатие растет с увеличением формовочного давления прессования до 33-38 МПа, после чего с увеличением усилия прессования до 45 МПа показатели R_c снижаются, что, на наш взгляд, объясняется более плотной структурой материала, получаемой при столь больших давлениях прессования сырьевой смеси. Следовательно,

Графическая обработка экспериментальных и расчетных данных моделей формирования прочности на сжатие исследуемых известково-известняковых систем на основе известковой пыли в зависимости от одновременного влияния варьируемых факторов при различных режимах карбонизации представлена на рис. 14-18.

требуется более длительная выдержка изделий в среде повышенных концентраций CO_2 . Таким образом, данный факт уменьшения R_c доказывает, что в формировании прочностных показателей прессованных материалов, твердение которых организовано по карбонатному типу, активное участие принимает и карбонизационная составляющая, формирующая будущую структуру искусственного камня из кристаллов кальцита [33-39].

При статичном способе обработки композиций углекислым газом (см. рис. 14 (b)) наблюдается обратная картина. Динамика набора прочности опытными образцами ниже, чем при динамичном способе, однако, абсолютные значения прочностных показателей при сходных варьируемых условиях выше, а сама динамика набора прочности имеет тенденцию к дальнейшему росту, как с увеличением формовочного давления прессования образцов, так и с увеличением концентрации CO_2 в газо-воздушной смеси, подаваемой в камеру карбонизации. Данное явление

показывает, что ускорение реакции карбонизации извести путем активного просачивания CO_2 через образцы, моделируемое в нашем эксперименте в виде динамичного режима карбонизации, во-первых, приводит к резкому образованию в системе большого количества воды, которая закупоривает поры в материале, и затрудняет диффузию CO_2 по порам материала, а во-вторых, может создавать условия для возникновения в системе агрессивной углекислоты и начала растворения и коррозии кристаллов кальцита новообразованной карбонатной структуры [24,27, 30-32].

Оценивая полученные ЭС модели принудительного карбонатного твердения образцов на основе известковой пыли и известняка, можно сделать вывод, что наиболее целесообразным способом организации ускоренного карбонизационного твердения материалов на основе извести, может быть, комбинированный способ искусственной карбонизации, который заключается в создании предварительного разряжения в камере карбонизации, последующей подачи газо-воздушной смеси CO_2 и далее ведение

процесса по статичному режиму, поддерживая заданную концентрацию CO_2 .

Анализ изменения прочности на сжатие в зависимости от содержания известкового вяжущего, формовочного давления прессования и концентрации CO_2 в газо-воздушной смеси при различных способах карбонизации представлен на рисунках 15 и 16.

Динамичный способ карбонизации (рис. 15) показывает, что прочность на сжатие опытных образцов растет с увеличением содержания вяжущего при изменении других факторов. Однако, как уже отмечалось, с увеличением концентрации CO_2 более 40-50 % прочность на сжатие практически не изменяется, причем с ростом формовочного давления прессования повышаются и предельные концентрации CO_2 , при которых R_c практически не изменяется. Так у опытных образцов, изготовленных с усилием прессования 10 и 20 МПа предельная концентрация CO_2 составляет 40 %, а у образцов, спрессованных при 30 и 40 МПа – 60 %.

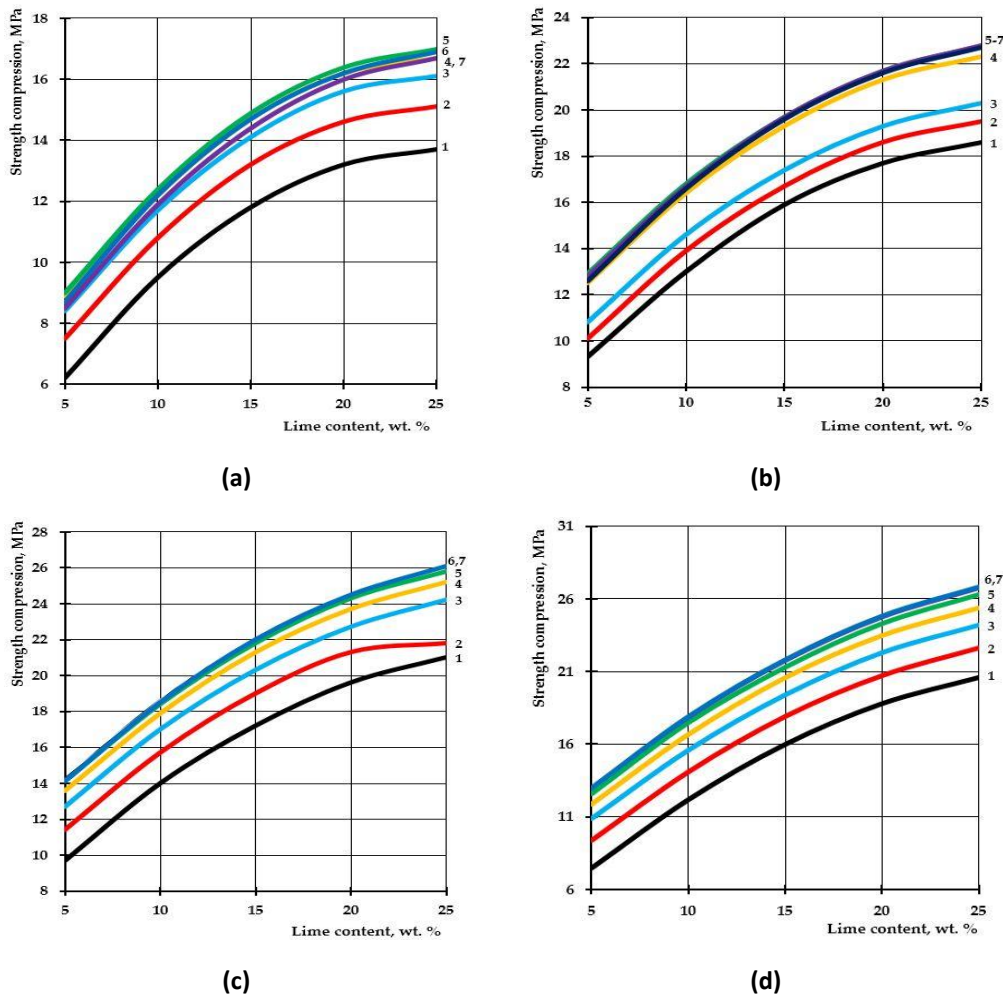


Рис. 15. Изменение прочности на сжатие опытных образцов, изготовленных при формовочном давлении прессования 10 (a), 20 (b), 30 (c) и 40 (d) МПа, карбонизированных динамичным способом после 5-ти циклов карбонизации, в зависимости от содержания в составе $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и концентрации CO_2 , %: 1 – 10; 2 – 20; 3 – 30; 4 – 40; 5 – 50; 6 – 60; 7 – 65.
Fig. 15. Variation in compressive strength of testing samples manufactured at pressing pressure of: (a) 10; (b) 20; (c) 30; (d) 40 MPa. Samples carbonated by dynamic method after five cycles of carbonation, depending on the content of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and concentration of CO_2 , %: 1—10; 2—20; 3—30; 4—40; 5—50; 6—60; 7—65.

В условиях статичной карбонизации (рис. 16) у опытных образцов с увеличением содержания в их составе $\text{Ca}(\text{OH})_2$ до 15 % мас. наблюдается некоторое снижение прочности на сжатие, с увеличением содержания извести в составе прочность увеличивается. Нам представляется, что это погрешность расчета программы. Прочность при содержании гидроксида кальция в формовочных смесях в пределах 5-15 % мас.

изменяется незначительно, а с увеличением содержания $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в составах более 15 % мас. прочность заметно растет. Необходимо отметить, что прочность на сжатие образцов, карбонизированных статическим способом, при повышенных давлениях прессования (гиперпрессовании) более 30 МПа, выше на 25-35 % аналогичных образцов, полученных динамичным способом карбонизации.

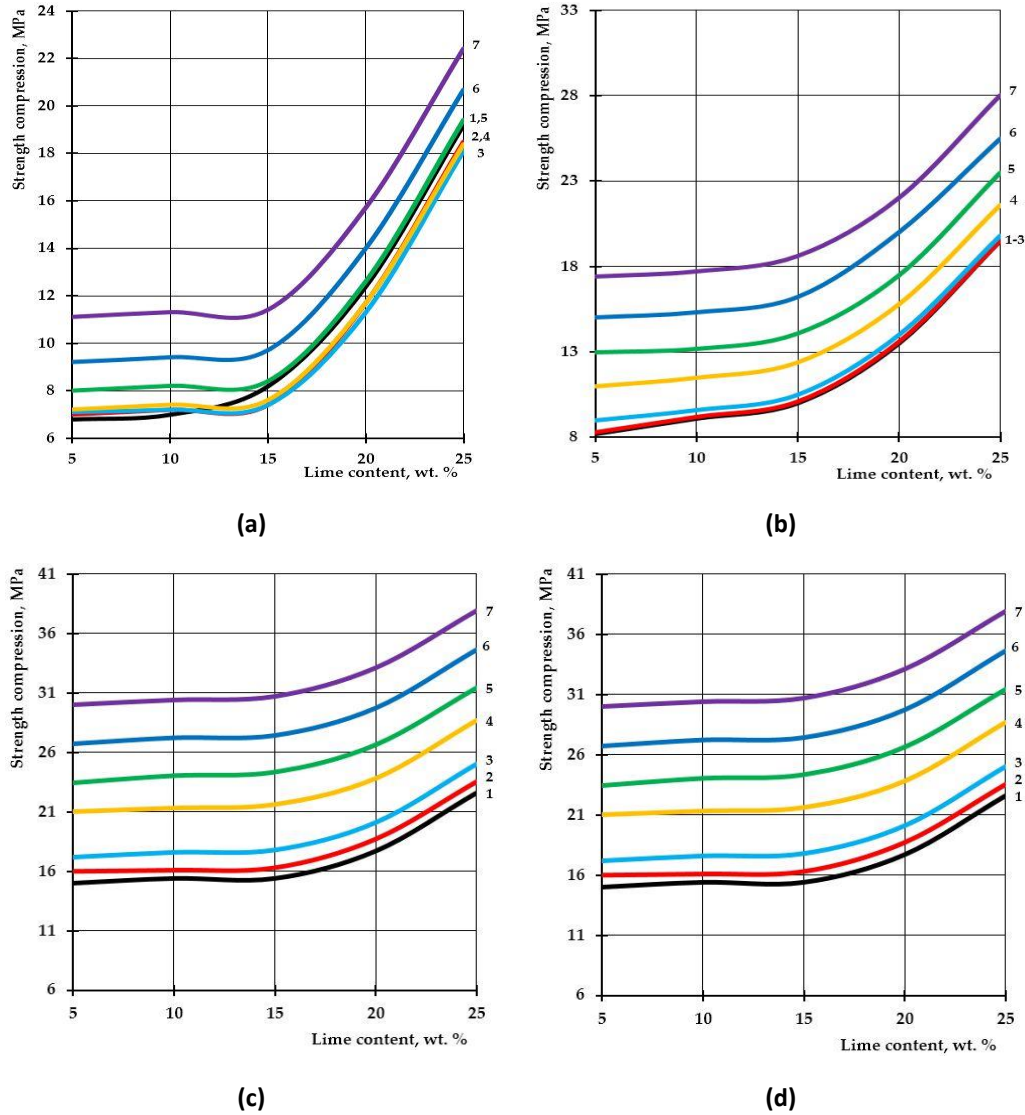


Рис. 16. Изменение прочности на сжатие опытных образцов, изготовленных при формовочном давлении прессования 10 (a), 20 (b), 30 (c) и 40 (d) МПа, карбонизированных статическим способом в течении 900 с, в зависимости от содержания в составе $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и концентрации CO_2 , %: 1 – 10; 2 – 20; 3 – 30; 4 – 40; 5 – 50; 6 – 60; 7 – 65.

Fig. 16. Variation in the compressive strength of testing samples manufactured at pressing pressure of: (a) 10; (b) 20; (c) 30; (d) 40 MPa. Samples carbonated by static method during 900 s, depending on the content of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and concentration of CO_2 , %: 1—10; 2—20; 3—30; 4—40; 5—50; 6—60; 7—65.

Исследование влияния количества циклов при динамичном способе карбонизации на изменение прочности на сжатие опытных образцов, представленное на рисунке 17, показывает, что, в целом, прочность растет равно как с увеличением количества циклов карбонизации, так и с увеличением количества известкового вяжущего в составе композиций. Однако, следует заметить, что

характер роста R_c такой, что при увеличении количества циклов (более 5) и формовочного давления прессования рост прочности на сжатие несколько замедляется по причине затрудненного доступа CO_2 к частицам $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в глубинных слоях образца из-за блокирующего поры материала воды, выделяющейся в ходе реакции карбонизации $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

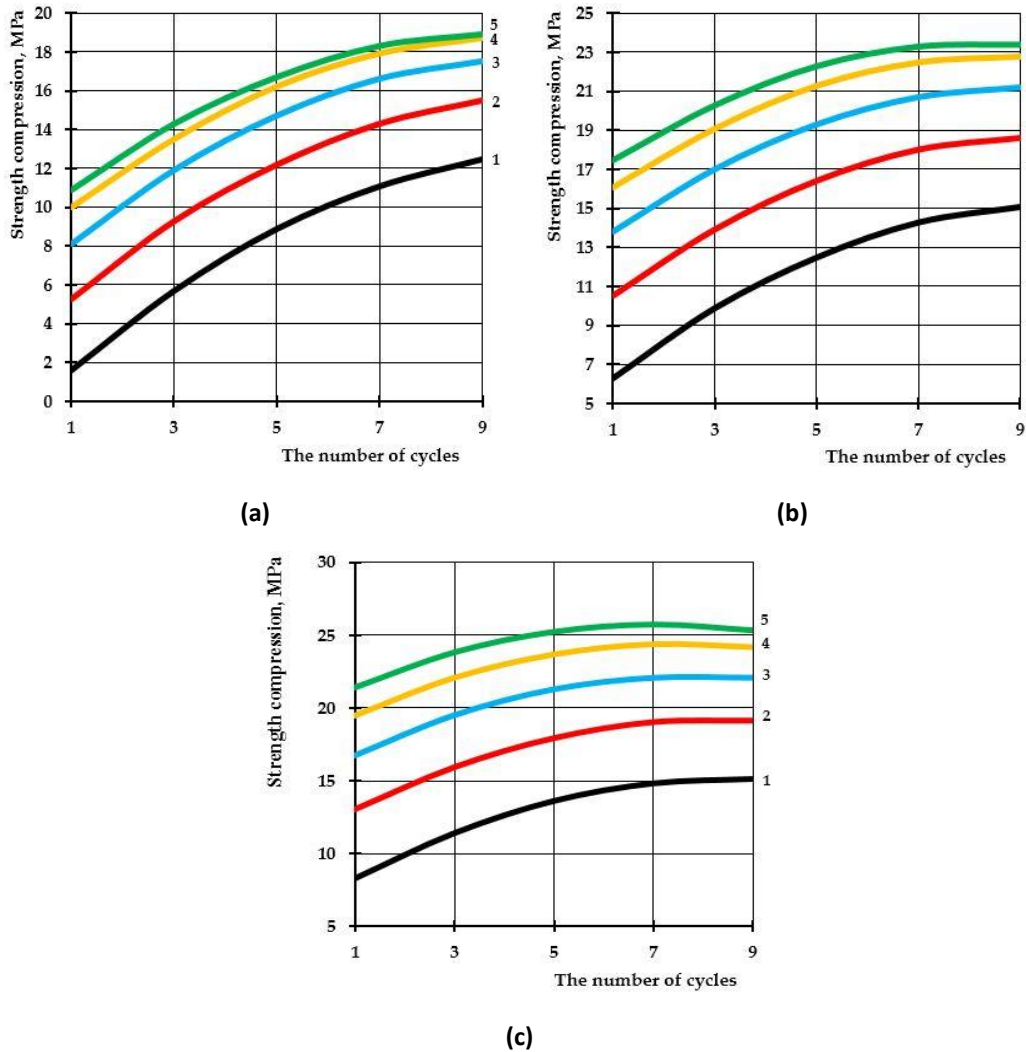


Рис. 17. Изменение предела прочности при сжатии опытных образцов, изготовленных полусухим прессованием при давлении прессования 15 (а), 25 (б) и 35 (с) МПа, карбонизированных динамичным способом в газо-воздушной среде с 40 % концентрацией CO₂, в зависимости от количества циклов карбонизации и содержания извести в составе сырьевой смеси, % мас.: 1 – 5; 2 – 10; 3 – 15; 4 – 20; 5 – 25.

Fig. 17. Change in compression strength of testing samples produced by semi-dry pressing at pressing pressure: (a) 15; (b) 25; (c) 35 MPa. Samples carbonated by the dynamic method in gas and air environment with 40% concentration of CO₂, depending on the number of carbonation cycles and lime content in the raw mix, % wt.: 1—5; 2—10; 3—15; 4—20; 5—25.

Прочность на сжатие образцов при статичном способе карбонизации (рис.18) в отличие от динамического способа, напротив, с увеличением времени обработки их углекислотной средой увеличивается и к 1620 с при содержании извести 25 % мас. и формовочного давления прессования

35 МПа составляет 37,3 МПа, что превышает прочность на сжатие образцов, полученных при сходных условиях, карбонизация которых протекала в динамичных условиях подачи CO₂ более, чем на 45 %.

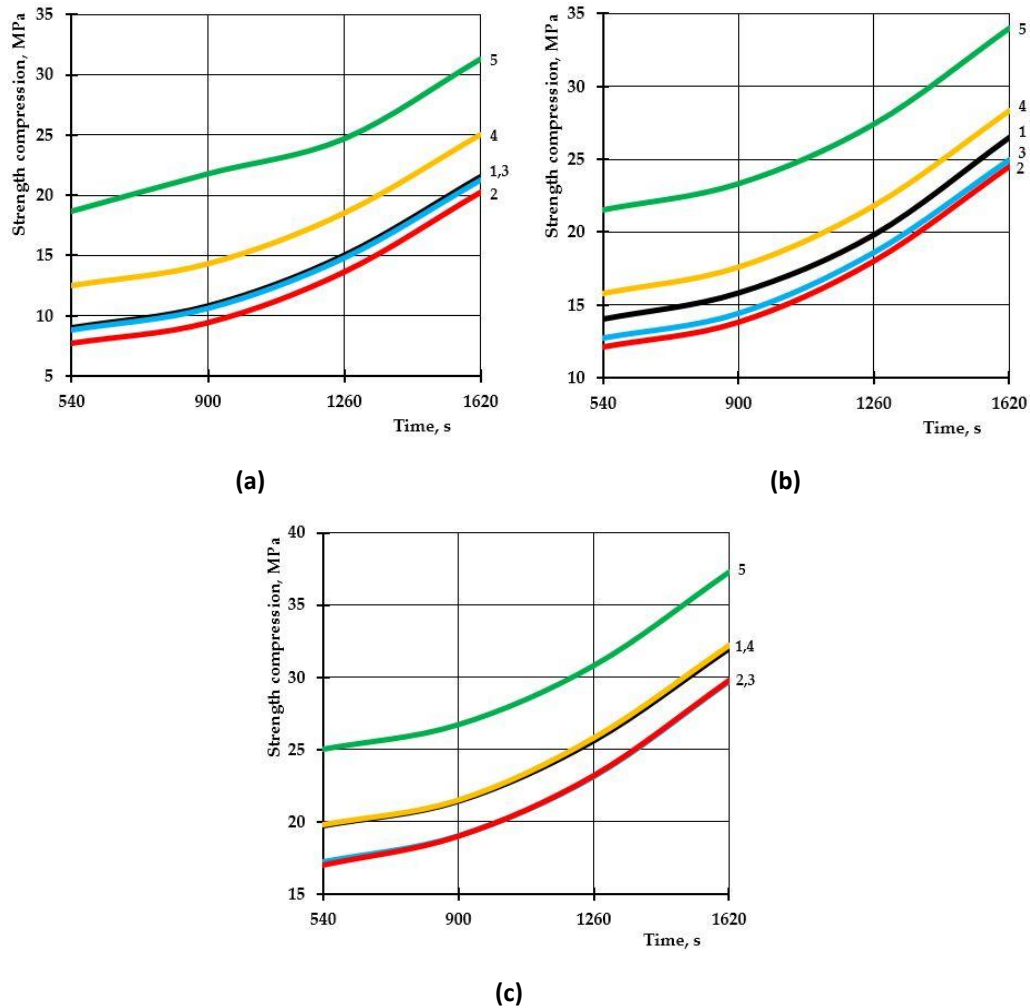


Рис. 18. Изменение предела прочности при сжатии опытных образцов, изготовленных полусухим прессованием при давлении прессования 15 (а), 25 (б) и 35 (в) МПа, карбонизированных статичным способом в газо-воздушной среде с 40 % концентрацией CO_2 , в зависимости от времени карбонизации и содержания извести в составе сырьевой смеси, % мас.: 1 – 5; 2 – 10; 3 – 15; 4 – 20; 5 – 25.

Fig. 18. Variation of compressive strength limit of testing samples produced by semi-dry pressing at pressing pressure: (a) 15; (b) 25; (c) 35 MPa. Samples carbonated by the static method in gas and air environment with 40% concentration of CO_2 , depending on carbonation time and lime content in the raw mix, % wt.: 1—5; 2—10; 3—15; 4—20; 5—25.

Формирование водостойкости материалов на основе извести карбонизационного твердения, как видно из полученных результатов, зависит от образования карбонизированного слоя, утолщению которого способствует увеличение концентрации и обработки образцов в средах с повышенной концентрацией CO_2 . Увеличение таких факторов, как формовочное давление формования и содержание известковой составляющей в составе образцов, напротив, уменьшают толщину карбонизированного слоя, главным образом, из-за образующейся более плотной начальной структуры материала, препятствующей диффузии CO_2 [35, 40-42].

Водопоглощение по массе карбонизированных образцов в наибольшей степени определяет формовочное давление прессования, с увеличением которого показатель водопоглощения снижается. Повышение концентрации CO_2 и количества циклов карбонизации также уменьшают водопоглощение

образцов, а увеличение содержания $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в составе сырьевой смеси повышает показатель W_m карбонизированного материала, ухудшая его гидрофизические свойства.

Как было установлено при анализе результатов исследований, водостойкость опытных образцов зависит от степени карбонизации известкового вяжущего, которую может косвенно характеризовать карбонизированный слой образцов. На рисунке 19 представлена графическая зависимость показателя водостойкости K_s от толщины карбонизированного слоя, δ , из которой видно, что материал приобретает свойства водостойкого ($K_p \geq 0,8$) при $\delta \geq 9$ мм.

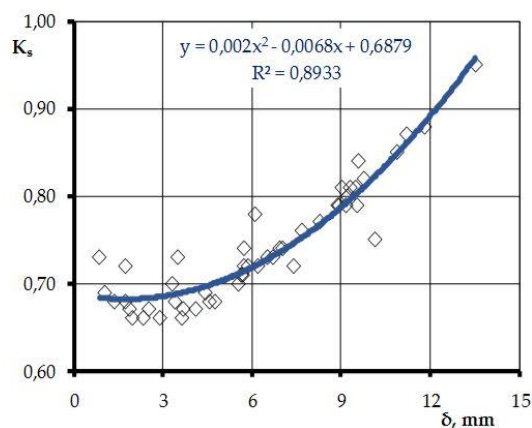


Рис. 19. Зависимость водостойкости от толщины карбонизированного слоя известково-известняковых образцов-цилиндров полусухого прессования на основе известковой пыли, полученных при 5-ти циклах карбонизации в среде 40 % концентрации CO₂.

Fig. 19. Dependence of water resistance, R_s , on the thickness of the carbonated layer of lime-liming cylinder samples of semi-dry pressing on the basis of lime dust, obtained at 5 cycles of carbonation in the environment, with 40% concentration of CO₂.

Результаты настоящих исследований показали, что применение ускоренных способов карбонизации материалов на основе вяжущего компонента, содержащего Ca(OH)₂, не эффективно при высоких концентрациях углекислого газа в камере карбонизации (более 50 %). Оптимальными концентрациями CO₂ в газо-воздушных смесях, применяемых для получения строительных материалов и изделий принудительного карбонатного твердения, можно считать 30-40 %. Примерно такая концентрация углекислого газа содержится, например, в печных и дымовых газах шахтных известковых печей и тепловых электростанций, работающих на каменном угле. Учитывая тот факт, что при высоких концентрациях CO₂ в структуре принудительно карбонизируемого материала развиваются дефекты, более целесообразным является увеличение времени карбонизации.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований динамичного и статичного режимов карбонизации опытных образцов на основе известковой пыли и мелкодисперсного известняка установлено, что динамичный режим значительно ускоряет процесс карбонизации на начальном этапе, но более

экспериментально установлено, что наиболее эффективным способом организации ускоренного карбонизационного твердения строительных материалов и изделий, получаемых способом полусухого прессования смесей на основе известкостержащего вторичного сырья и мелкодисперсного известняка, является комбинированный способ карбонизации, совмещающий в себе принципы динамичного и статичного способов, сущность которого заключается в создании предварительного разряжения в карбонизационной камере, последующей подачей в нее углекислотную газо-воздушную смесь и дальнейшую карбонизацию в

статичном режиме, поддерживая постоянную концентрацию CO₂ в камере карбонизации в пределах 30-40 %, что соответствует концентрации CO₂ в печных и дымовых газах шахтных известковых печей и тепловых электростанций, работающих на каменном угле. Одним из необходимых условий осуществления процесса принудительной карбонизации при производстве строительных материалов и изделий карбонатного твердения является обеспечение в камерах карбонизации интенсивного удаления влаги, как из образцов, так и из самой камеры, например, «протравливанием» камеры потоком газо-воздушной смеси с постоянной концентрацией CO₂.

Исследования выполнены при финансовой поддержке внутривузовского гранта Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского в рамках научного проекта No. ВГ01/2020.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Gartner E. Industrially interesting approaches to "low-CO₂" cements // Cement and Concrete Research. – 2004. – Volume 34, Issue 9. – Pp. 1489-1498. DOI:
- Karen L. Scrivener, Vanderley M. John, Ellis M. Gartner. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry // Cement and Concrete Research. – 2018. – Vol. 114. – Pp. 2-26.
- Li C., Nie Z., Cui S., Gong X., Wang Z., Meng X. The life cycle inventory study of cement manufacture in China // Journal of Cleaner Production. – 2014. – Volume 72 (1). – Pp. 204-211.
- Shi C., Jimenez A.F., Palomo A. New cements for the 21st century: the pursuit of an alternative to Portland cement // Cement and Concrete Research. – 2011. – Volume 41(7). – Pp. 750-763.
- Mote C., Dowling J., Zhou J. The power of an idea: the international impacts of the grand challenges for engineering // Engineering. – 2016. – Volume 2. – Pp. 4-7.

6. Barcelo, L., Kline, J., Walenta, G. et al. // Cement and carbon emissions. *Mater Struct.* – 2014. – 47. 1055-1065.
7. U.S. Patent No. 9,868,667, «Bonding Element, Bonding Matrix and Composite Material Having the Bonding Element and Method of Manufacturing Thereof».
8. Amoureux J., Siffert P., Massue J.P., Cavadias S., Trujillo B., Hashimoto K., Rutberg P., Dresvin S., Wang X. Carbon dioxide: a new material for energy storage // *Progress in Natural Science: Materials International.* – 2014. – Volume 24. – Pp. 295-304.
9. Yootaek Kim and Kyongwoo Lee. Mechanical properties of non-cement mortars fabricated under supercritical carbonation conditions without alkali activators and composed of fly ash and fused waste slag // *Materials Today: Proceedings.* – 2016. – Volume 3. – Pp. 381-390.
10. Damyanti Badagha, Modhera C.D., Grade M. Concrete using industrial waste to minimize cement content incorporating CO₂ emission concept: an experimental investigation // *Materials Today: Proceedings.* – 2017. – Volume 4. – Pp. 9768-9772.
11. Humbert P. S., Castro-Gomes J. P., Savastano H. Clinker-free CO₂ cured steel slag based binder: Optimal conditions and potential applications. *Construction and Building Materials.* – 2019. – Volume 210. – Pp. 413-421.
12. Ghouleh Z., Guthrie R., Shao Y. High-strength KOBM steel slag binder activated by carbonation // *Construction and Building Materials.* – 2015. – Volume 99. – Pp. 175-183.
13. Huang H., Wang T., Kolosz B., Andresen J. and etc. Life-cycle assessment of emerging CO₂ mineral carbonation-cured concrete blocks: Comparative analysis of CO₂ reduction potential and optimization of environmental impacts // *Journal of Cleaner Production.* – 2019. – Volume 241. – Article 118359.
14. Ghouleh Z., Guthrie R., Shao Y. Production of carbonate aggregates using steel slag and carbon dioxide for carbon-negative concrete // *Journal of CO₂ Utilization.* – 2017. – Volume 18. – Pp. 125-138.
15. Lyubomirskiy N., Bakhtin A., Bakhtina T. Physicochemical principles of CO₂ sequestration in building materials based on nepheline slime // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering (MSE).* – 2018. – Volume 463. – Article 032065.
16. Bakhtina T., Lyubomirskiy N., Bakhtin A. Dolomite binding materials with low CO₂ emission // *Materials Today: Proceedings.* – 2019. – Volume 19. – No 5. – Pp. 1998-2004.
17. Бикбулатов И.Х., Насыров Р.Р., Даминев Р.Р., Бакиев А.Ю. Способ утилизации основного отхода производства кальцинированной соды // *Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело».* – 2 (2007). – 1-16.
18. Курбангалеев М.Х., Хасанова А.А., Янбеков Л.Ф. Использование твердых отходов производства соды в качестве сырья для товарной продукции // *Сборник статей Города России: проблемы строительства, инженерии, ландшафтного дизайна и экологии.* – 2015. – С. 59-62.
19. Джандулаева М.С., Алиева Ж.А., Холмухаматова Ф.Н. Использование карбонатных отходов содового производства в качестве сырья при производстве силикатного кирпича // *Universum: Технические науки.* – 2018. – № 12. С. 77-80.
20. Lyubomirskiy N.V., Nikolaenko V.V., Nikolaenko E.Y. Changes in the physicochemical properties of materials of carbonate hardening on the basis of lime and lime stone systems with the course of time // *Materials Today: Proceedings.* – 2019. – Volume 19. – No 5. – Pp. 1917-1921.
21. Lyubomirskiy N., Fic S., Fedorkin S.I. Investigation of Physical and Mechanical Properties of Construction Materials of Forced Carbonate Hardening // *Materials Science Forum.* – 2018 – Volume 931 – Pp. 475-480.
22. Lyubomirskiy N., Bakhtina T., Bakhtin A., Fedorkin S. The carbonate hardening lime construction material properties formation during their long-term storage and use under normal conditions // *Materials Science Forum.* – 2019. – Volume 974. – Pp. 187-194.
23. Ukraine Patent 28051, «Device for studying the carbonation process», N. Lyubomirskiy, S. Fedorkin, T. Loktionova (Bakhtina), A. Bakhtin.
24. Lyubomirskiy N.V., Fedorkin S.I., Bakhtin A.S., Bakhtina T.A. Structuring of composite systems based on lime harden through carbonation and secondary limestone raw materials // *Malaysian Construction Research Journal (MCRJ).* – 2017. – Volume 23. – No 3 – Pp. 15-26.
25. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. – Москва: Наука. – 1965. – 340 с.
26. Ермаков С.М., Джигкявский А.А. Математическая теория оптимального эксперимента. – Москва: Наука. – 1987. – 318 с.
27. Cizer O., K. Van Balen, J. Elsen, D. Van Gemert. Crystal morphology of precipitated calcite crystals from accelerated carbonation of lime binders. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Accelerated Carbonation for Environmental and Materials Engineering*, 1–3 October 2008, Rome, Italy. – Pp. 149–158.
28. De Silva P., Bucea L., Moorehead D.R., Sirivivatnanon V. Carbonate binders: Reaction kinetics, strength and microstructure // *Cement & Concrete Composites.* – 2006. – No. 28 – Pp. 613–620.
29. Van Balen K. Carbonation reaction of lime, kinetics at ambient temperature // *Cement & Concrete Research.* – 2005. – Volume 35, Issue 4 – Pp. 647-657.
30. Duygu Ergenç, Rafael Fort Accelerating carbonation in lime-based mortar in high CO₂ environments // *Construction and Building Materials.* – 2018. – Volume 188. – Pp. 314-325.
31. Liwu Mo, Feng Zhang, Daman K. Panesar, Min Deng Development of low-carbon cementitious materials via carbonating Portland cement–fly ash–magnesia blends under various curing scenarios: a comparative study // *Journal of Cleaner Production* – 2017. – Volume 163. – Pp. 252-261.
32. Shamsad Ahmad et al. Effects of carbonation

pressure and duration on strength evolution of concrete subjected to accelerated carbonation curing // *Construction and Building Materials*. – 2017. – Volume 136. – Pp. 565-573.

33. A. Moropoulou et al. Strength development and lime reaction in mortars for repairing historic masonries // *Cement and Concrete Composites*. – 2005. – Vol. 27. Issue 2. – P.p. 289-294.

34. Tiefeng Chen, Xiaojian Gao. Effect of carbonation curing regime on strength and microstructure of Portland cement paste // *Journal of CO₂ Utilization*. – 2019. – Volume 34. – Pp. 74-86.

35. Pedro S. Humbert, João Castro-Gomes. CO₂ activated steel slag-based materials: A review // *Journal of Cleaner Production*. – 2019. – Volume 208. – Pp. 448-457.

36. Liwu Mo, Feng Zhang, Min Deng. Mechanical performance and microstructure of the calcium carbonate binders produced by carbonating steel slag paste under CO₂ curing // *Cement and Concrete Research*. – 2016. – Volume 88. – Pp. 217-226.

37. Liu Qian, Liu Jiexiang, Qi Liqian. Effects of temperature and carbonation curing on the mechanical properties of steel slag-cement binding materials // *Construction and Building Materials*. – 2016. – Volume 124. – Pp. 999-1006.

38. Tao Wang et al. Accelerated mineral carbonation curing of cement paste for CO₂ sequestration and enhanced properties of blended calcium silicate // *Chemical Engineering Journal*. – 2017. – Volume 323. – P.p. 320-329.

39. Özlem Cizer, Koen Van Balen, Jan Elsen, Dionys Van Gemert Real-time investigation of reaction rate and mineral phase modifications of lime carbonation // *Construction and Building Materials*. – 2012. – Volume 35 – Pp. 741-751.

40. Robert M. Lawrence et al. Effects of carbonation on the pore structure of non-hydraulic lime mortars // *Cement and Concrete Research*. – 2007. – Volume 37. Issue 7. – Pp. 1059-1069.

41. T.A. Plekhanova, J. Keriene, A. Gailius, G.I. Yakovlev. Structural, physical and mechanical properties of modified wood–magnesia composite – *Construction and Building Materials*. – 2007. – Volume 21. Issue 9. – Pp. 1833-1838.

42. L.Pu, C. Unluer. Investigation of carbonation depth and its influence on the performance and microstructure of MgO cement and PC mixes // *Construction and Building Materials*. – 2016. – Volume 120. – Pp. 349-363.

REFERENCES

1. Gartner E. Industrially interesting approaches to “low-CO₂” cements // *Cement and Concrete Research*. – 2004. – Volume 34, Issue 9. – Pp. 1489-1498. DOI:

2. Karen L. Scrivener, Vanderley M. John, Ellis M. Gartner. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry // *Cement and Concrete Research*. – 2018. – Vol. 114. – Pp. 2-26.

3. Li C., Nie Z., Cui S., Gong X., Wang Z., Meng X. The life cycle inventory study of cement manufacture in China // *Journal of Cleaner Production*. – 2014. – Volume 72 (1). – Pp. 204-211.

4. Shi C., Jimenez A.F., Palomo A. New cements for the 21st century: the pursuit of an alternative to Portland cement // *Cement and Concrete Research*. – 2011. – Volume 41(7). – Pp. 750-763.

5. Mote C., Dowling J., Zhou J. The power of an idea: the international impacts of the grand challenges for engineering // *Engineering*. – 2016. – Volume 2. – Pp. 4-7.

6. Barcelo, L., Kline, J., Walenta, G. et al. // *Cement and carbon emissions*. *Mater Struct*. – 2014. – 47. 1055-1065.

7. U.S. Patent No. 9,868,667, «Bonding Element, Bonding Matrix and Composite Material Having the Bonding Element and Method of Manufacturing Thereof».

8. Amoureux J., Siffert P., Massue J.P., Cavadias S., Trujillo B., Hashimoto K., Rutberg P., Dresvin S., Wang X. Carbon dioxide: a new material for energy storage // *Progress in Natural Science: Materials International*. – 2014. – Volume 24. – Pp. 295-304.

9. Yootaek Kim and Kyongwoo Lee. Mechanical properties of non-cement mortars fabricated under supercritical carbonation conditions without alkali activators and composed of fly ash and fused waste slag // *Materials Today: Proceedings*. – 2016. – Volume 3. – Pp. 381-390.

10. Damyanti Badagha, Modhera C.D., Grade M. Concrete using industrial waste to minimize cement content incorporating CO₂ emission concept: an experimental investigation // *Materials Today: Proceedings*. – 2017. – Volume 4. – Pp. 9768-9772.

11. Humbert P. S., Castro-Gomes J. P., Savastano H. Clinker-free CO₂ cured steel slag based binder: Optimal conditions and potential applications. *Construction and Building Materials*. – 2019. – Volume 210. – Pp. 413-421.

12. Ghouleh Z., Guthrie R., Shao Y. High-strength KOBM steel slag binder activated by carbonation // *Construction and Building Materials*. – 2015. – Volume 99. – Pp. 175-183.

13. Huang H., Wang T., Kolosz B., Andresen J. and etc. Life-cycle assessment of emerging CO₂ mineral carbonation-cured concrete blocks: Comparative analysis of CO₂ reduction potential and optimization of environmental impacts // *Journal of Cleaner Production*. – 2019. – Volume 241. – Article 118359.

14. Ghouleh Z., Guthrie R., Shao Y. Production of carbonate aggregates using steel slag and carbon dioxide for carbon-negative concrete // *Journal of CO₂ Utilization*. – 2017. – Volume 18. – Pp. 125-138.

15. Lyubomirskiy N., Bakhtin A., Bakhtina T. Physicochemical principles of CO₂ sequestration in building materials based on nepheline slime // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering (MSE)*. – 2018. – Volume 463. – Article 032065.

16. Bakhtina T., Lyubomirskiy N., Bakhtin A. Dolomite binding materials with low CO₂ emission //

Materials Today: Proceedings. – 2019. – Volume 19. – No 5. – Pp. 1998-2004.

17. Bikbulatov I.Kh., Nasyrov R.R., Daminov R.R., Voronin A.Yu. Method of utilization of the main waste of soda ash production // Electronic scientific journal Oil and gas business. – 2 (2007). – Pp. 1-16.

18. Kurbangaleev M.H., Khasanova A.A., Yanbekov L.F. The use of solid waste soda production as a raw material for commercial products // Collected papers Cities of Russia: problems of construction, engineering, landscaping and ecology. – 2015. – Pp. 59-62.

19. Dzhandullaeva M., Adilova M., Aliyeva Z., Kholmukhamatova F. The use of carbonate waste soda production as a raw material in the production of silicate bricks // Universum: Technical Sciences. – 2018. – Volume 12. – Pp. 77-80.

20. Lyubomirskiy N.V., Nikolaenko V.V., Nikolaenko E.Y. Changes in the physico-mechanical properties of materials of carbonate hardening on the basis of lime and lime stone systems with the course of time // Materials Today: Proceedings. – 2019. – Volume 19. – No 5. – Pp. 1917-1921.

21. Lyubomirskiy N., Fic S., Fedorkin S. Investigation of Physical and Mechanical Properties of Construction Materials of Forced Carbonate Hardening // Materials Science Forum. – 2018 – Volume 931 – Pp. 475-480.

22. Lyubomirskiy N., Bakhtina T., Bakhtin A., Fedorkin S. The carbonate hardening lime construction material properties formation during their long-term storage and use under normal conditions // Materials Science Forum. – 2019. – Volume 974. – Pp. 187-194.

23. Ukraine Patent 28051, «Device for studying the carbonation process», N. Lyubomirskiy, S. Fedorkin, T. Loktionova (Bakhtina), A. Bakhtin.

24. Lyubomirskiy N.V., Fedorkin S.I., Bakhtin A.S., Bakhtina T.A. Structuring of composite systems based on lime harden through carbonation and secondary limestone raw materials // Malaysian Construction Research Journal (MCRJ). – 2017. – Volume 23. – No 3 – Pp. 15-26.

25. Nalimov V.V., Chernova N.A. Statistical methods of planning extreme experiments. – Moscow: Nauka. – 1965. – 340 p.

26. Ermakov S.M., Jigkyavskiy A.A. The mathematical theory of optimal experiment. – Moscow: Nauka. – 1987. – 318 p.

27. Cizer O., K. Van Balen, J. Elsen, D. Van Gemert. Crystal morphology of precipitated calcite crystals from accelerated carbonation of lime binders. In Proceedings of the 2nd International Conference on Accelerated Carbonation for Environmental and Materials Engineering, 1–3 October 2008, Rome, Italy. – Pp. 149–158.

28. De Silva P., Bucea L., Moorehead D.R., Sirivatnanon V. Carbonate binders: Reaction kinetics, strength and microstructure // Cement & Concrete Composites. – 2006. – No. 28 – Pp. 613–620.

29. Van Balen K. Carbonation reaction of lime, kinetics at ambient temperature // Cement & Concrete Research. – 2005. – Volume 35, Issue 4 – Pp. 647-657.

30. Duygu Ergenç, Rafael Fort Accelerating carbonation in lime-based mortar in high CO₂ environments // Construction and Building Materials. – 2018. – Volume 188. – Pp. 314-325.

31. Liwu Mo, Feng Zhang, Daman K. Panesar, Min Deng Development of low-carbon cementitious materials via carbonating Portland cement–fly ash–magnesia blends under various curing scenarios: a comparative study // Journal of Cleaner Production – 2017. – Volume 163. – Pp. 252-261.

32. Shamsad Ahmad et al. Effects of carbonation pressure and duration on strength evolution of concrete subjected to accelerated carbonation curing // Construction and Building Materials. – 2017. – Volume 136. – Pp. 565-573.

33. A. Moropoulou et al. Strength development and lime reaction in mortars for repairing historic masonries // Cement and Concrete Composites. – 2005. – Vol. 27. Issue 2. – P.p. 289-294.

34. Tiefeng Chen, Xiaojian Gao. Effect of carbonation curing regime on strength and microstructure of Portland cement paste // Journal of CO₂ Utilization. – 2019. – Volume 34. – Pp. 74-86.

35. Pedro S. Humbert, João Castro-Gomes. CO₂ activated steel slag-based materials: A review // Journal of Cleaner Production. – 2019. – Volume 208. – Pp. 448-457.

36. Liwu Mo, Feng Zhang, Min Deng. Mechanical performance and microstructure of the calcium carbonate binders produced by carbonating steel slag paste under CO₂ curing // Cement and Concrete Research. – 2016. – Volume 88. – Pp. 217-226.

37. Liu Qian, Liu Jiaxiang, Qi Liqian. Effects of temperature and carbonation curing on the mechanical properties of steel slag-cement binding materials // Construction and Building Materials. – 2016. – Volume 124. – Pp. 999-1006.

38. Tao Wang et al. Accelerated mineral carbonation curing of cement paste for CO₂ sequestration and enhanced properties of blended calcium silicate // Chemical Engineering Journal. – 2017. – Volume 323. – P.p. 320-329.

39. Özlem Cizer, Koen Van Balen, Jan Elsen, Dionys Van Gemert Real-time investigation of reaction rate and mineral phase modifications of lime carbonation / Construction and Building Materials. – 2012. – Volume 35 – Pp. 741-751.

40. Robert M. Lawrence et al. Effects of carbonation on the pore structure of non-hydraulic lime mortars // Cement and Concrete Research. – 2007. – Volume 37. Issue 7. – Pp. 1059-1069.

41. T.A. Plekhanova, J. Keriene, A. Gailius, G.I. Yakovlev. Structural, physical and mechanical properties of modified wood–magnesia composite – Construction and Building Materials. – 2007. – Volume 21. Issue 9. – Pp. 1833-1838.

42. L.Pu, C. Unluer. Investigation of carbonation depth and its influence on the performance and microstructure of MgO cement and PC mixes // Construction and Building Materials. – 2016. – Volume 120. – Pp. 349-363.

INTENSIVE WAYS OF PRODUCING CARBONATE CURING BUILDING MATERIALS BASED ON LIME SECONDARY RAW MATERIALS

Lyubomirskiy N.V.¹, Fedorkin S.I.², Bakhtin A.S.³, Bakhtina T.A.⁴

Academy of Construction and Architecture of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
Simferopol, Kiyevskaya St., 181,

¹niklub.ua@gmail.com; ⁴kfu.fedorkin@mail.ru; ³aleserba@gmail.com; ⁴t.bakhtina83@gmail.com

Abstract: the article is dedicated to the research and development of intensive methods for curing products by capturing and binding CO₂. It aims to improve and increase the productivity of technologies for the production of artificially carbonated building materials and products. Soda production wastes, limestone dust and finely dispersed limestone dust were used as the research objects. Secondary raw materials have been investigated using modern methods of phase composition and granulometry test. Intensive methods of production of accelerated carbonation of systems consisting of soda wastes were tested using multi-parameter optimization methods. The effects of recycled lime materials on the strength and hydrophysical properties of the obtained material were determined. The secondary raw materials effect depended on the composition of the raw mixture, molding conditions, CO₂ concentration applied to the carbonate curing chamber, and the duration of exposure to environments with high CO₂ content. It was found that the most effective way of providing accelerated carbonation curing of construction materials and products is a combined carbonation method, combining the principles of dynamic and static methods. It was concluded that the optimal CO₂ concentration in the gas-air mixtures used for carbonate curing is 30%–40%.

Key words: forced carbonate hardening; secondary raw materials; soda production wastes; lime dust; Ca(OH)₂; CaCO₃; CO₂; carbonation chamber

Раздел 3. Инженерное обеспечение

УДК 620.92

ГИБРИДНЫЕ ВЕТРО-СОЛНЕЧНЫЕ МОРСКИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Чебоксаров В.В., Кузнецов П.Н.

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, г. Севастополь, ул.
Университетская, 33, E-mail: VVCheboxarov@sevsu.ru

Аннотация. В статье анализируется проблема нестабильности выработки энергии из возобновляемых источников и возможные пути ее решения. Показываются преимущества использования гибридных энергетических установок, в особенности, ветро-солнечных установок. Дается обзор основных подходов по созданию ветро-солнечных установок. На примерах показывается, что размещение фотоэлектрических преобразователей на роторах ветроэлектрических установок традиционных конструкций является недостаточно эффективным решением по ряду причин. Кратко описывается конструкция крупногабаритной ветроустановки морского базирования с вертикальной осью вращения, установка массива фотоэлектрических преобразователей на верхней кольцевой части которой представляется перспективным решением. Анализируются его достоинства, основным из которых является повышение энергетической эффективности фотоэлектрической установки за счет интенсификации теплоотвода от поверхности фотоэлементов. Приводятся два варианта схем расположения фотоэлектрических модулей на роторе ветротурбины, соответствующие электрические схемы и конструкция токосъемного узла. Описывается работа гибридной энергоустановки. Проводятся оценочные расчеты энергетических параметров комбинированной ветро-солнечной установки. Результаты расчетов показывают, что потенциальная годовая выработка энергии на ветровой части установки может составить 19300 МВт·ч, а у фотоэлектрической части, установленной на верхнем кольце ветротурбины, - 572 МВт·ч. Таким образом оказывается, что фотоэлектрическая часть гибридной энергоустановки предоставляет достаточную энергию для приводов поворота лопастей и других потребителей собственных нужд, что снизит требования к емкости дорогостоящих накопителей энергии.

Предмет исследования: Новые типы гибридных ветро-солнечных энергетических установок и их энергетическая эффективность.

Материалы и методы: Теоретической и методологической основой являются труды и разработки отечественных и зарубежных ученых в области возобновляемой энергетики. В работе использовались аналитические методы исследований, включающие прогнозный расчет годовой энерговыработки новой гибридной ветро-солнечной установки, используя модели прихода солнечной радиации Хейя и Клачера, а также распределение Вейбулла для расчета вероятности скорости ветра.

Результаты: Проведен анализ проблемы нестабильности выработки установок возобновляемой энергетики. Показано, что создание гибридных, в частности, ветро-солнечных энергоустановок является актуальным и эффективным способом ее решения. Но совмещение фотоэлектрической установки с ветроэлектрическими при их традиционных конструкциях не дает нужного синергетического эффекта по ряду причин. Как альтернатива рассмотрена ветроэлектрическая морская установка, имеющая в верхней части конструкции развитую кольцевую поверхность, пригодную для размещения фотоэлектрических модулей. Проведенные оценочные расчеты энергетических параметров комбинированной ветро-солнечной установки морского базирования показали, что потенциальная годовая выработка энергии на ветроустановке диаметром 200 м составляет 19300 МВт·ч, а годовая выработка фотоэлектрических модулей, установленных на ее верхнем кольце, - 572 МВт·ч.

Выводы: Нестабильность выработки энергии из возобновляемых источников является серьезной проблемой, влияющей на себестоимость получаемой энергии. Использование гибридных энергетических установок, в особенности, ветро-солнечных может облегчить проблему нестабильности. Однако гибридизация с традиционными конструкциями ветроустановок не даёт требуемого синергетического эффекта. Перспективной является установка фотоэлектрических модулей на верхнем кольцевом диске крупногабаритной морской ветроэнергетической установки. Достоинством такого решения является также то, что оно позволяет повысить энергетическую эффективность фотоэлектрических преобразователей за счет интенсификации теплоотвода от поверхности фотоэлементов. Несмотря на то, что соотношение энерговыработки ФЭУ к ВЭУ составляет всего около 3%, расчеты показывают, что данного количества энергии достаточно для электроснабжения приводов поворота лопастей и других потребителей собственных нужд ВЭУ.

Ключевые слова: Ветро-солнечная установка, ветроэнергетика, фотоэнергетика, морская энергоустановка, возобновляемая энергетика, гибридная установка, энергопотенциал.

ВВЕДЕНИЕ

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) многочисленны и по своей физической сущности весьма разнообразны. При этом использование различных видов ВИЭ в настоящий момент находится на неодинаковых стадиях технологического развития. Например,

использование градиента солености воды в получении энергии не вышло из стадии лабораторных экспериментов и даже в будущем возможно только ограничено. Напротив, технологии ветроэнергетики, фотоэлектричества, использование энергии биомассы достаточно давно стали коммерческими и распространены в большинстве стран мира. По глубокому убеждению авторов, следует поддерживать все виды ВИЭ,

каждый из них имеет свою область эффективного использования. Однако для решения проблем глобальных, таких как борьба с изменением климата, прежде всего необходимо расширять использование наиболее дешевых, максимально экологически чистых и имеющих наибольшие запасы возобновляемых энергоресурсов. По этим критериям в возобновляемой энергетике уже давно сформировались лидеры – ветровая и солнечная энергетика [1].

Объективно использование ВИЭ существенно сдерживается недостатками, присущими каждому из них. Основным недостатком абсолютного большинства ВИЭ следует признать непостоянство и часто плохо предсказуемый характер выдаваемой мощности. Данный недостаток приходится преодолевать весьма затратными мерами по аккумулярованию энергии или резервированию энергетическими установками традиционной генерации. Свойственен он и ветроэнергетическим установкам (ВЭУ), работа которых зависит от скорости ветра. Для фотоэлектрических энергетических установок (ФЭУ) характерна зависимость мощности от интенсивности солнечного излучения (функция времени суток, времени года, погодных условий) и температуры. К

счастью, указанные факторы непостоянства характеристик ВЭУ и ФЭУ, как правило, имеют слабую корреляцию, что позволяет в существенной степени уменьшить их влияние в комбинированных (гибридных) ветро-солнечных установках.

Данная статья посвящена анализу известных подходов к созданию гибридных установок возобновляемой энергетике, в особенности ветро-солнечных энергетических установок и рассмотрению их перспективных морских вариантов.

Как было сказано выше, генерация на основе ВИЭ имеет переменный характер, зависящий от ряда внешних условий, вследствие чего предложение электроэнергии от ВИЭ нестабильно, трудно прогнозируемо и не корректируется под колебания спроса. В настоящее время это действительно, под которую приходится подстраиваться в процессе внедрения энергоустановок, использующих ВИЭ. На Рис. 1 приведена гистограмма суточной энерговыработки ФЭУ в г. Белгороде установленной мощностью 100 кВт и ВЭУ USW-56-100 Судакской ветроэлектростанции в октябре 2016 г.

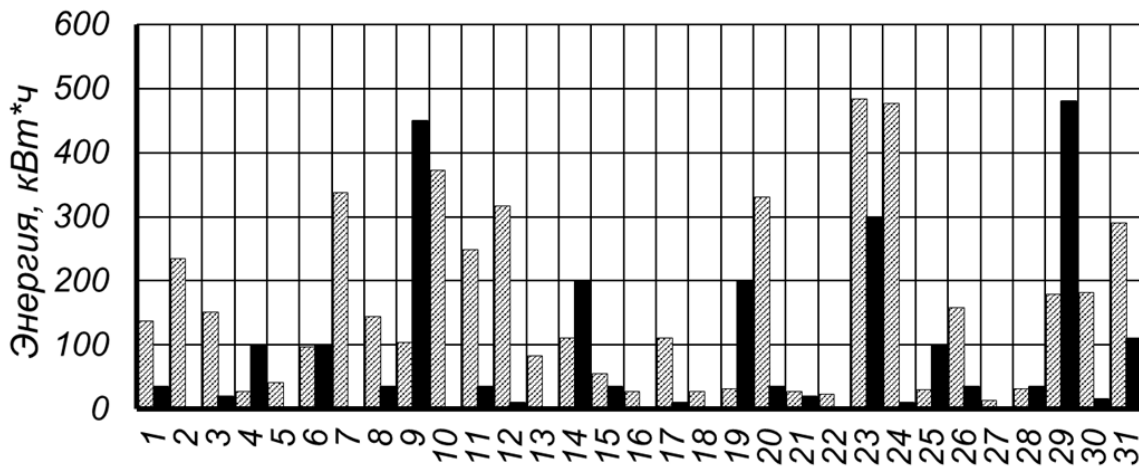


Рис. 1. Суточная энерговыработка ФЭУ установленной мощностью 100 кВт (▨) и ВЭУ установленной мощностью 100 кВт (■) в октябре 2016 г

Fig.1. Daily output for 100 KW photovoltaic power plant (▨) and 100 KW wind power plant (■) in October, 2016

Однако негативные последствия от естественно нестабильного характера выработки на абсолютном большинстве видов установок с ВИЭ могут быть исключены или, по крайней мере, уменьшены несколькими путями.

Во-первых, влияние нестабильности выработки таких установок снижается путем их подключения к разветвленным магистральным электрическим сетям, простирающимся на многие сотни и тысячи км. В этом случае, например, падение выработки из-за слабого ветра на ВЭУ, расположенных в одном районе, компенсируется выработкой энергии на ВЭУ в другом районе, где ослабления ветра не наблюдается. Однако при этом требуется некоторое резервирование мощности энергоустановок, растут

расходы на поддержание сетевой инфраструктуры и возникают неизбежные потери в сетях. Частично помочь здесь могут технологии SmartGrid, развитие которых во многом было инициировано увеличением доли распределенной и возобновляемой генерации.

В перспективных планах развития электроэнергетики России, согласно «дорожной карте» Национальной технологической инициативы «Энерджинет» предусмотрен переход на интеллектуальные активно-адаптивные сети «SmartGrid», предполагающие увеличение масштабов использования ВИЭ и, в частности, фото- и ветроэнергетики [2,3]. До 2020 г. включительно в РФ планируется ввод более

пятидесяти солнечных электростанций, суммарной установленной мощностью 1520 МВт [4,5] и 21 ветроэлектростанций установленной мощностью 2261 МВт до 2022 г. [5,6].

Во-вторых, широко используется компенсация уменьшенной выработки с ВИЭ за счет включения в той же сети резервных мощностей традиционной генерации, например, тепловой. Однако тем самым ограничиваются возможности для значительного увеличения доли ВИЭ в энергобалансе в целях борьбы с изменением климата. Если энергоустановка с ВИЭ работает автономно, например, в удаленном от магистральных электросетей районе, то она также чаще всего резервируется традиционной генерацией, как правило, дизель-генератором. Однако весьма высокая стоимость самого дизель-генератора, его эксплуатации и обслуживания ухудшает экономические показатели такой гибридной энергоустановки.

В-третьих, применяется включение в энергосистему или в автономную энергоустановку с ВИЭ накопителей энергии различных видов с соответствующим оборудованием для заряда и разряда [7]. Емкость накопителей и мощность нагрузки здесь должны соответствовать ожидаемой длительности перерывов в работе основного генератора на ВИЭ и его мощности соответственно. Недостатком этого решения является очень высокая стоимость установленной мощности накопителя и оборудования преобразования энергии. К примеру, стоимость такого оборудования для ФЭУ, установленной мощностью до 10 кВт, составляет 50-75% стоимости всей установки [8]. Кроме того, у большинства типов накопителей энергии весьма ограничен ресурс работы, например, число циклов заряд/разряд, достаточно жесткие требования по режимам заряда, наблюдается эффект памяти, снижающий емкость накопителя, используются редкие и очень часто токсичные материалы.

Полностью исключить необходимость аккумулирования в энергокомплексах с ВИЭ при переходе к энергетике устойчивого развития, по-видимому, никогда не удастся, однако затраты на аккумулирование можно значительно уменьшить за счет рационального комбинирования возобновляемых источников различной физической природы. Такой подход можно рассматривать как четвертый, наиболее рациональный и «чистый» путь решения проблемы нестабильности выработки. При этом создаются гибридные установки, в которых недостатки одного из преобразователей возобновляемой энергии частично компенсируются работой преобразователя (преобразователей) энергии другого типа с выдачей энергии всех преобразователей в сеть в одной точке.

Немногочисленными примерами здесь являются ветро-солнечные установки, позволяющие в светлое время суток компенсировать выработку электроэнергии при отсутствии ветра [9-11] и наоборот, термофотоэлектрические гелиоустановки [12], позволяющие получать тепловую и электрическую энергию с одной рабочей поверхности (абсорбера), солнечно-геотермальные системы теплоснабжения и др.

Поскольку, как выше указывалось, ветроэнергетика и прямое преобразование солнечной энергии являются и, очевидно, долгое время останутся лидерами в возобновляемой энергетике, то одним из самых перспективных направлений создания гибридных энергоустановок, по мнению авторов, следует рассматривать разработку ветро-солнечных установок (ВЭУ-ФЭУ).

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В настоящее время уже разработан ряд гибридных ветро-солнечных установок различных конструкций. Одна из них [11] включает в себя ВЭУ и размещенную отдельно ФЭУ. Использование данных источников генерации, в комплексе с системой аккумулирования, позволяет обеспечить бесперебойное электропитание потребителей и собственных нужд в различных погодных условиях. Основными недостатками такого решения являются необходимость использования дополнительной свободной площади для размещения батареи фотоэлектрических преобразователей, а также снижение эффективности фотоэлектрических преобразователей из-за температурного нагрева, вызванного плохим теплоотводом от их поверхности.

Решить данную проблему позволяет использование комбинированных гибридных установок, конструкция одной из которых показана на Рис 2. В основе данной установки используется комбинированная вертикально-осевая ВЭУ с соосно расположенными роторами Савониуса и Дарье, причем ротор Савониуса располагается внутри ротора Дарье и на всей поверхности его скрученных лопастей с двух сторон закреплены фотоэлектрические преобразователи. Электрическая энергия от электрического генератора ВЭУ и фотоэлектрических преобразователей поступает в накопитель электрической энергии через контроллер и индукционный токопередающий узел. От накопителя электрическая энергия распределяется потребителю.

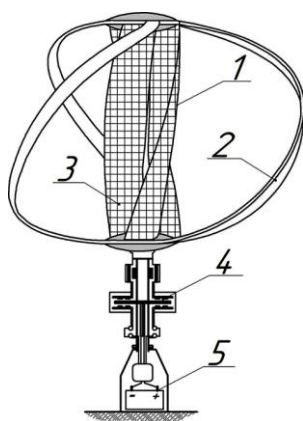


Рис. 2. Гибридная ветро-солнечная установка с вертикальной осью вращения [9]

1 – ротор Савониуса, 2 – ротор Дарье, 3 – фотоэлектрические преобразователи, 4 – индукционный токопередающий узел, 5 – накопитель электрической энергии

Fig. 2. Vertical-axis hybrid wind-PV power plant [9]

1 – Savonius rotor, 2 – Darrieus rotor, 3 – PV array, 4 – induction power transducer, 5 – accumulator electric energy

Достоинством данной установки является то, что за счет совместного использования ветровой и солнечной энергии она позволяет повысить стабильность вырабатываемой электроэнергии от альтернативных источников энергии при изменчивости погодных условий, а также увеличить мощность и эффективность гибридной установки. Однако, не смотря на достоинства, конструкция установки содержит серьезные недостатки, существенно снижающие её эффективность. Основными недостатками этого решения являются малая мощность и низкая эффективность работы ФЭУ из-за непрерывной, неравномерной смены освещенности фотоэлектрических преобразователей при вращении ротора Савониуса, а также дополнительного затенения фотоэлектрических преобразователей лопастями расположенного вокруг них ротора Дарье.

Ещё одна конструкция комбинированной гибридной ветро-солнечной установки (Рис. 3)

предложена в работе [10]. Данная установка основана на горизонтально-осевой трёхлопастной конусно-шнековой ВЭУ, на наружные стороны ротора которой нанесены фотоэлектрические преобразователи пленочного типа. Солнечная энергия на фотоэлектрические преобразователи поступает в концентрированном виде через двояковыпуклые продольные линзы. Для повышения эффективности работы ВЭУ конструкция включает конфузор-диффузор, позволяющий увеличить скорость ветрового потока на роторе. Электрическая энергия от фотоэлектрических преобразователей и электрического генератора ВЭУ передается посредством пары токопередающих узлов в аккумуляторную батарею через контроллер заряда-разряда. Запасенная в аккумуляторах энергия передается к потребителю через инвертор напряжения.

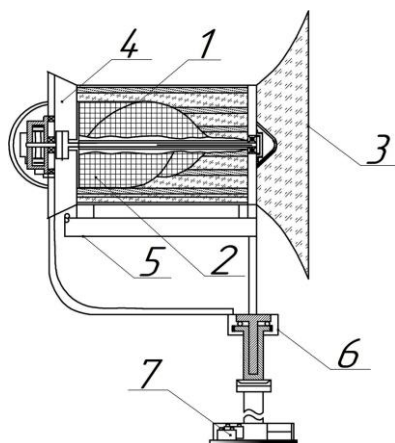


Рис. 3. Гибридная ветро-солнечная установка с горизонтальной осью вращения [10]

1 – ротор ВЭУ; 2 – фотоэлектрические преобразователи; 3 – конфузор; 4 – диффузор; 5 – поворотная платформа; 6 – опора поворотной опоры; 7 – контроллер заряда-разряда и аккумуляторная батарея

Fig.3. Horizontal-axis hybrid wind-PV power plant [10]

1 – wind turbine; 2 – PV array; 3 – confuser; 4 – diffuser; 5 – rotary platform; 6 – platform bearing; 7 – accumulator and battery controller

Основным достоинством данной гибридной установки является способность вырабатывать электроэнергию при малых скоростях ветра за счет конструктивных особенностей и комплексного использования энергии ветра и солнца. Однако такая способность требует существенного усложнения конструкции и материалоемкости, а также снижает надежность. Учитывая то, что мощность ветрового потока зависит от скорости ветра в кубе, использование данной ВЭУ не позволит существенно увеличить энерговыработку по сравнению с классическими конструкциями, существенно уступая последним в стоимости и надежности. Также недостатком этого решения является низкая эффективность работы ФЭУ. Причиной этого является неравномерная, непрерывно изменяющаяся освещенность фотоэлектрических преобразователей, вызванная вращением лопастей ротора и поворотной платформы, а также использованием способа их освещения посредством оптических концентраторов. Такое неравномерное освещение практически не позволяет использовать последовательную и смешанную коммутацию фотоэлектрических преобразователей. Это связано с тем, что в модуле, состоящем из последовательно соединенных фотоэлектрических преобразователей, ток ограничивается током наименее освещенного преобразователя, а в случае отключения затененного преобразователя шунтирующим диодом, снижается выходное напряжение модуля, что не позволяет ему передавать энергию потребителю при параллельном соединении с другими модулями. Использование параллельной коммутации фотоэлектрических преобразователей также не решает данную проблему, ввиду сложностей, связанных с преобразованием электроэнергии из-за низкого выходного напряжения и больших значений тока ФЭУ, и как в

случае смешанной коммутации, но в меньшей мере, наличия рассогласованности по напряжению преобразователей имеющих различную освещенность.

Исключить неравномерную освещенность ФЭУ, сопряженной с ветротурбиной, позволяет использование схем комбинированных установок, предполагающих размещение ФЭУ вне ветрогенератора. Пример такой схемы приведен в патенте [11]. Однако данные решения требуют использования дополнительной свободной площади для размещения батареи фотоэлектрических преобразователей, а также приводят к снижению эффективности фотоэлектрических преобразователей из-за их нагрева при работе по причине плохого теплоотвода.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Как показано на вышеприведенных примерах, совмещение фотоэлектрической установки с ветроэнергетическими установками представляет существенные трудности и, при существующих конструкциях ВЭУ, не приносит заметного синергетического эффекта. Объяснением этому является, очевидно, тот факт, что у традиционных ВЭУ фактически нет поверхностей для установки фотоэлектрических модулей (ФЭМ). Наибольшую площадь в ветротурбинах с горизонтальной осью имеют криволинейные поверхности лопастей. Размещение ФЭМ на них практически невозможно по целому ряду причин. Из-за переменной ориентации на Солнце также крайне неэффективной будет работа ФЭМ в случае их закрепления на башнях или других конструктивных элементах традиционных ВЭУ.

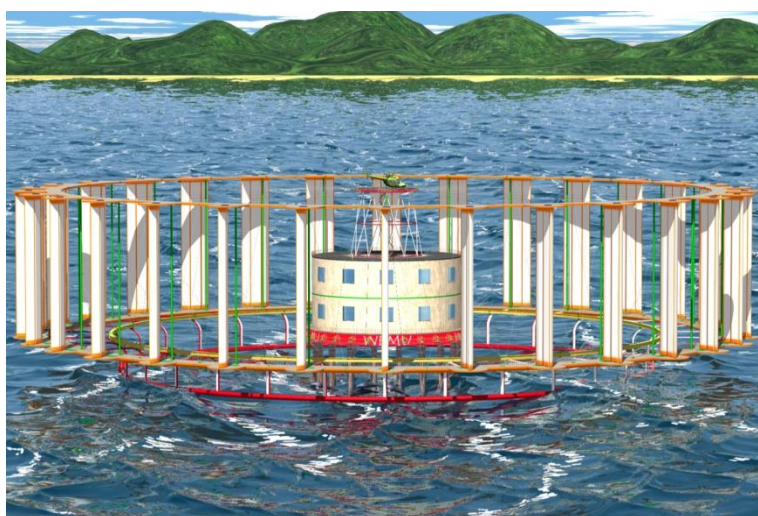


Рис. 4. Артистическое представление турбины ВЭМУ номинальной мощностью 10 МВт (вариант для мелкого шельфа)

Fig. 4. Artistic representation of 10 MW WEMU turbine for shallow water installation

В Дальневосточном федеральном университете и ныне в Севастопольском государственном университете в последние годы разрабатывается проект нового типа ВЭУ повышенной мощности – ветроэнергетических морских установок (ВЭМУ) [13-15]. ВЭМУ отличаются наличием крупногабаритной турбины с вертикальными лопастями, которая при медленном вращении вокруг вертикальной оси удерживается на поверхности воды вращающимся торообразным понтоном (см. Рис. 4). Результаты проведенных аэродинамических исследований методами цифрового моделирования с полноразмерными расчетными областями показывают возможность получения значений коэффициента использования энергии ветра свыше 50% несмотря на малую (менее 1) величину быстроходности (см., например, [16]).

Важной особенностью турбины ВЭМУ является то, что для достижения указанной высокой аэродинамической эффективности требуется активное управление ориентацией лопастей в зависимости от направления и скорости ветра (управление углом питча). Поэтому на роторе ВЭМУ должны быть установлены следящие приводы, к которым необходим подвод энергии. По оценкам [16], потери энергии на приводах поворота лопастей будут составлять около 1,5% от номинальной выработки. Причем, по условиям безопасной эксплуатации ВЭМУ эти приводы должны как правило функционировать даже в периоды остановки вращения турбины из-за превышения скоростью ветра верхнего предела рабочего диапазона. В это время приводы поворота

лопастей обеспечивают флюгерное положение лопастей для уменьшения аэродинамических нагрузок на конструкцию.

Указанные приводы вместе с опорами лопастей располагаются в двух соосных кольцевых дисках, прилегающих к торцевым поверхностям лопастей сверху и снизу с небольшим зазором. Через эти диски и присоединенные к ним тяговые элементы (тросы) в турбине ВЭМУ осуществляется передача крутящего момента с лопастей на ступицу, вращающуюся на опоре в центральной башне, и передаются реактивные силы с опоры на лопасти. Поэтому для обеспечения прочности и жесткости, а также для уменьшения концевых потерь давления на лопастях диски имеют существенную протяженность в радиальном направлении. Ширина сечения у обоих дисков должна превышать хорду лопасти на 10...20% и, например, для ВЭМУ номинальной мощностью 10 МВт ориентировочно составит 8...9 метров. При этом около половины ширины диска будет занимать верхняя плоская поверхность, свободная от любого другого оборудования ВЭМУ. Таким образом, на верхнем кольцевом диске ВЭМУ имеется развитая поверхность достаточно большой площади, пригодная для размещения массива ФЭМ и, как следствие, создания гибридной ВЭУ-ФЭУ морского базирования (см. Рис. 5 и 6). На Рис. 7 показано сечение верхней опоры ветротурбины с токопередающим узлом фотоэлектрической части гибридной энергоустановки. Электросхема фотоэлектрической части приведена на Рис. 8.

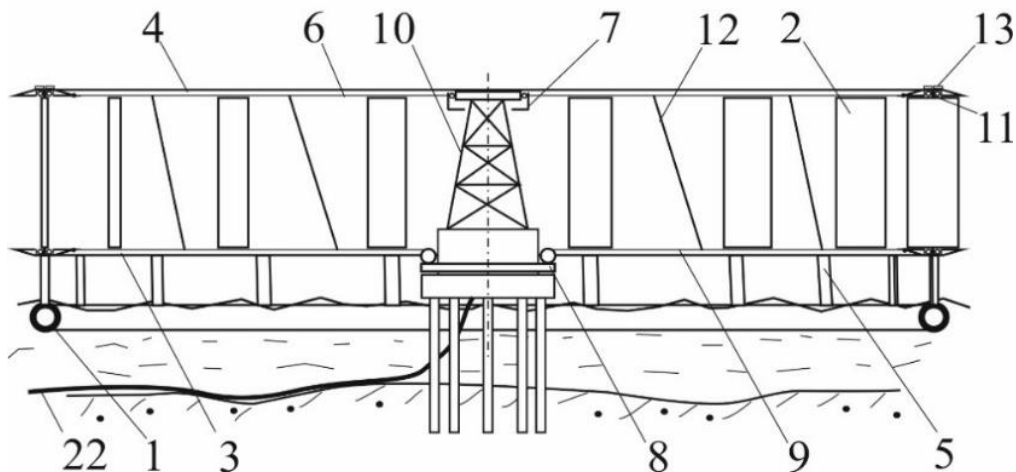


Рис. 5. Гибридная энергетическая установка во фронтальном осевом разрезе

Fig. 5. Axial section view of the hybrid power plant

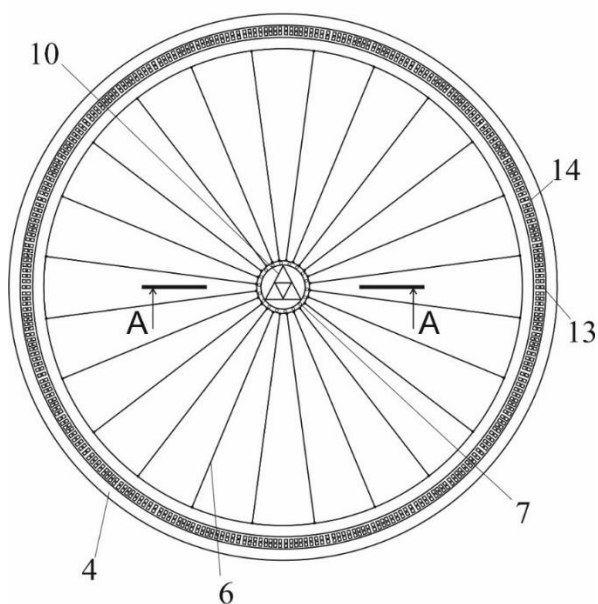


Рис. 6. Гибридная энергетическая установка вид сверху
(нижняя ступица преобразователя энергии и прикрепленные к ней гибкие тяги здесь условно не показаны)

Fig. 6. Top view on the hybrid power plan
(lower stretched cables and hub aren't shown)

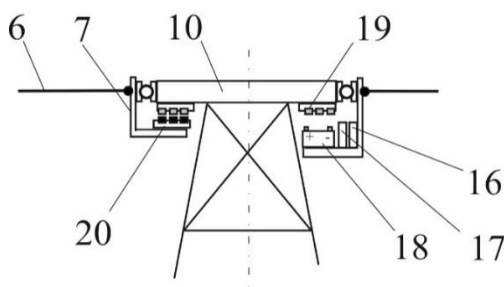


Рис. 7. Разрез А – А по верхней опоре ветротурбины

Fig. 7. A – A section view of the top turbine bearing

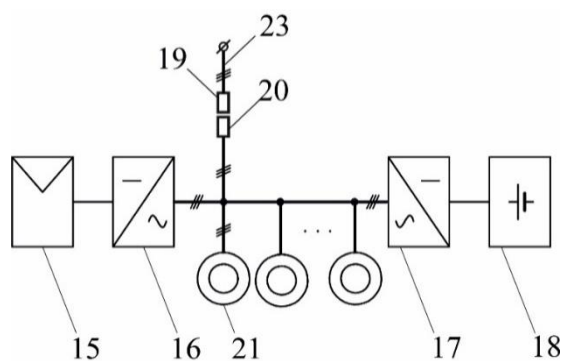


Рис. 8. Электрическая схема фотоэлектрической части энергетической установки

Fig. 8. Electric diagram of the photovoltaic part of the hybrid power plant

На рис. 5-8 использованы следующие обозначения: 1 - кольцевой понтон, 2 - поворотные лопасти, 3 и 4 - нижний и верхний (соответственно) кольцевые диски, 5 - жесткие колонны для крепления нижнего кольцевого диска 3 с кольцевым понтоном 1, 6 - горизонтальные радиальные гибкие тяги для крепления верхнего кольцевого диска 4 с верхней ступицей 7 ротора, 8 - нижняя ступица

ротора, 9 - горизонтальные гибкие тяги для крепления ступицы 8 с нижним кольцевым диском 3, 10 - неподвижная башня, 11 - вертикальная ось лопасти, 12 - наклонная штанга, 13 - фотоэлектрический модуль, составленный из фотоэлектрических преобразователей, 14 - верхняя плоская металлическая поверхность верхнего кольцевого диска 4, 15 - фотоэлектрическая батарея,

составленная из фотоэлектрических модулей 13, 16 – зависимый инвертор с контроллером фотоэлектрической батареи, 17 – батарейный инвертор, 18 – накопитель электрической энергии (аккумуляторная батарея), 19 – неподвижная часть токопередающего узла, 20 – подвижная часть токопередающего узла, 21 – привод поворота лопасти, 22 – подводный электрический кабель, 23 – силовые линии электрической сети установки.

Гибридная энергетическая установка представляет собой плавучую ветротурбину с вертикальной осью вращения, объединенную с солнечной миниэлектростанцией. Нижняя несущая система ротора ветротурбины выполнена в виде кольцевого понтона 1. К кольцевому понтону 1 на жестких колоннах 5 прикреплен нижний кольцевой диск 3, выше и параллельно которому расположен верхний кольцевой диск 4. Между жесткими кольцевыми дисками 3 и 4 размещены поворотные лопасти 2. Верхний кольцевой диск 4 скреплен горизонтальными радиальными гибкими тягами 6 с верхней ступицей 7 ротора, установленной на неподвижной башне 10. Причем верхняя ступица 7 ротора установлена с возможностью вращения вокруг продольной оси башни 10. Нижняя ступица 8 ротора скреплена горизонтальными гибкими тягами 9 с нижним кольцевым диском 3 и связана с преобразователем энергии (условно не показан), например, насосом объемнорегулируемой гидропередачи «насос-турбогенератор». Приводы поворота лопастей 23 могут быть выполнены в любом общеизвестном варианте, предпочтительно в виде высокомоментного низкоскоростного гидропривода. Кольцевые диски 3 и 4 выполнены шириной от 1,1 до 1,2 от величины хорды лопасти 2, с трапециевидальным поперечным сечением, что обеспечивает их обтекание с наименьшим реактивным сопротивлением.

На верхней плоской поверхности 14 верхнего кольцевого диска 4 установлены фотоэлектрические модули 13, составленные из фотоэлектрических преобразователей по стандартным схемам коммутации. Малая толщина фотоэлектрических модулей позволяет встроить их в тело верхнего кольцевого диска 4 заподлицо с верхней плоской поверхностью 14 и, таким образом, не ухудшать аэродинамического качества ветротурбины из-за образования дополнительных завихрений. Путем последовательных и параллельных соединений из фотоэлектрических модулей 13 составлена фотоэлектрическая батарея 15.

Выводы фотоэлектрической батареи 15 подключены ко входу зависимого инвертора 16 (например, может быть использован инвертор SunnyCentral компании SMA SolarTechnology AG [17]), выход которого подключен к клеммам подвижной части токопередающего узла 20. Неподвижная часть токопередающего узла 19 подключена к силовым линиям электрической сети 23. К выходу зависимого инвертора 16 также параллельно подключены входы электропитания приводов поворота лопастей 21 (блоки управления

приводов условно не показаны) и вход батарейного инвертора 17 (например, модели SMA SunnyIsland [17]) по переменному току. К входу по постоянному току батарейного инвертора 17 подключены выводы накопителя электрической энергии 18.

Схема коммутации фотоэлектрической батареи 15 определяется входным напряжением зависимого инвертора 16 и напряжением в точке максимальной мощности фотоэлектрического модуля по стандартным методикам. Номинальная мощность батарейного инвертора 17 обусловлена мощностью электродвигателей приводов поворота лопастей 21. Напряжение накопителя электрической энергии 18 определяется входным напряжением батарейного инвертора по постоянному току.

Токопередающий узел установлен соосно с центральной башней 10, предпочтительно в верхней опоре ротора. Его неподвижная часть 19, например, система контактных колец, подключенных к силовым линиям электрической сети установки, закреплена на центральной башне 10, а подвижная часть 20 токопередающего узла, например, система щеток расположена на верхней ступице 7. Возможно также исполнение токопередающего узла с бесконтактной (индукционной) передачей. Изолированные кабели (не показаны) от подвижной части 20 токопередающего узла к фотоэлектрической батарее 5 модулей и к входам электропитания приводов поворота лопастей 21 проложены по гибким тягам 6. Инверторы 16 и 17, аккумуляторная батарея 18 конструктивно расположены в отсеках ротора, приближенных к оси его вращения, например, на верхней ступице 7 или на нижней ступице 8, что облегчает доступ к ним технического персонала для обслуживания и ремонта.

Гибридная энергетическая установка работает следующим образом. Поворотные лопасти 2 посредством приводов их разворота (на Рис. 5 - 6 условно не показаны) поворачиваются вокруг вертикальных осей 11 на предварительно рассчитанные углы атаки относительно направления ветра. Аэродинамические силы, воздействующие на лопасти 2, передаются через оси 11 на нижний 3 и верхний 4 кольцевые диски. При этом крутящий момент через колонны 5 приводит во вращение кольцевой понтон 1 и, через предварительно натянутые гибкие тяги 9, нижнюю ступицу 8 ротора. Крутящий момент с верхнего кольцевого диска 4 через наклонные стержневые элементы (штанги) 12 также передается на нижний кольцевой диск 3 и далее на ступицу 8. Верхняя ступица 7, установленная в подшипнике на неподвижной башне 10, и нижняя ступица 8 удерживают диски 3 и 4 в горизонтальной плоскости соответственно через гибкие тяги 9 и 6. Тем самым обеспечивается жесткость ротора. Механическая энергия вращения нижней ступицы 8 ротора затем преобразуется в электрическую энергию, поступает в силовые линии 23 электрической сети установки и далее, по подводному кабелю 22, к внешним потребителям.

Фотоэлектрические преобразователи, включенные в фотоэлектрические модули 13, преобразуют энергию падающих на них фотонов солнечного излучения в электрическую энергию, формируют выходное напряжение модуля. Последовательное и параллельное соединение фотоэлектрических модулей 13 в фотоэлектрическую батарею 15 повышает напряжение до требуемого уровня входного напряжения зависимого инвертора 16 и повышает мощность. Переменный ток, полученный на выходе инвертора 16, через токопередающий узел (19 и 20) подается в силовые линии 23 электрической сети энергоустановки. Кроме того, с зависимого инвертора 16 осуществляется электропитание приводов поворота лопастей 21, а также заряд аккумуляторной батареи 18 через батарейный инвертор 17, работающий в данном случае в режиме зарядного устройства.

Поскольку все фотоэлектрические модули 13 расположены на одной верхней плоской грани 14 верхнего кольцевого диска 4, то они не подвергаются затенению и все находятся в условиях равномерной освещенности. Таким образом, предотвращается потеря мощности фотоэлектрической батареи 15, связанная с возможной неравномерностью освещения фотоэлектрических модулей 13.

В ночное время электропитание приводов поворота лопастей производится от силовых линий 23 электрической сети энергетической установки через токопередающий узел (19 и 20). В случае отказа электрической сети энергоустановки или отказа токопередающего узла при недостаточной мощности фотоэлектрической батареи 15, например, в ночное время, электропитание приводов поворота лопастей производится от аккумуляторной батареи 18 через батарейный инвертор 17, работающий в данном случае в режиме инвертора напряжения. При такой схеме

коммутации обеспечивается повышенная надежность работы гибридной энергоустановки.

Тепло, выделяемое при работе фотоэлектрических модулей 13, эффективно отводится в металл верхнего кольцевого диска 4 на верхней плоской грани 14 и далее отводится скоростными приповерхностными струями воздуха. Тем самым исключается снижение выходной мощности фотоэлектрических модулей из-за повышения температуры.

Как отмечено выше, верхний кольцевой диск описываемой ветротурбины имеет трапецеидальное поперечное сечение, боковые ребра которого при вращении образуют две наклонные (конические) поверхности, у которых нормаль в каждой точке не будет отклоняться от вертикали более чем на 20 ... 25 градусов. Это предоставляет возможность увеличения мощности солнечного компонента гибридной энергетической установки за счет размещения дополнительных батарей ФЭМ на одной или на обеих указанных наклонных поверхностях. Наклонные поверхности на большей части площади остаются освещенными Солнцем всё дневное время за исключением восхода и заката.

Для примера на Рис. 9 показан вид сверху на ветротурбину с дополнительными фотоэлектрическими модулями на верхней периферийной поверхности верхнего кольцевого диска 4. ФЭМ, расположенные, как описано выше, на верхней плоской поверхности диска, здесь условно не показаны. На Рис.10 для этого варианта приведена схема коммутации фотоэлектрических модулей в батарее. Здесь фотоэлектрические модули объединены в группы, из которых составлена батарея. На Рис. 9-10 использованы те же обозначения, как описано выше. Дополнительно обозначено: 24 – плоская грань на верхней периферийной поверхности верхнего кольцевого диска 4, 25 – группа фотоэлектрических модулей, 26 – устройство согласования по напряжению.

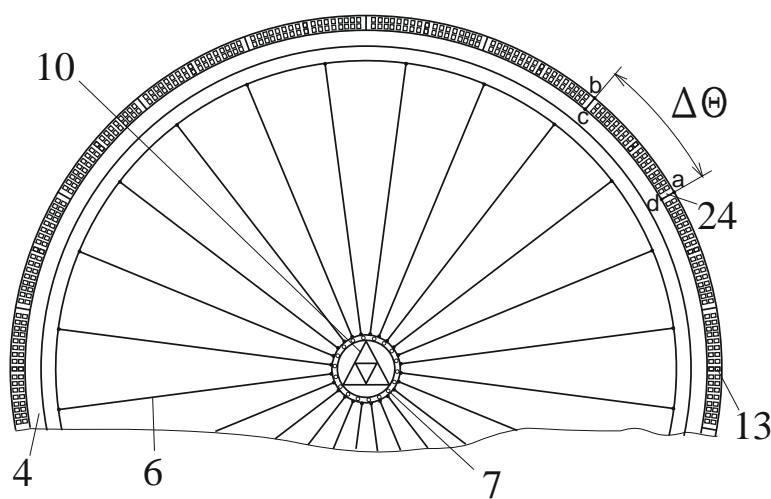


Рис. 9. Размещение дополнительных ФЭМ на периферии верхнего диска ветротурбины
Fig. 9. Additional photovoltaic modules installed on the top disc periphery

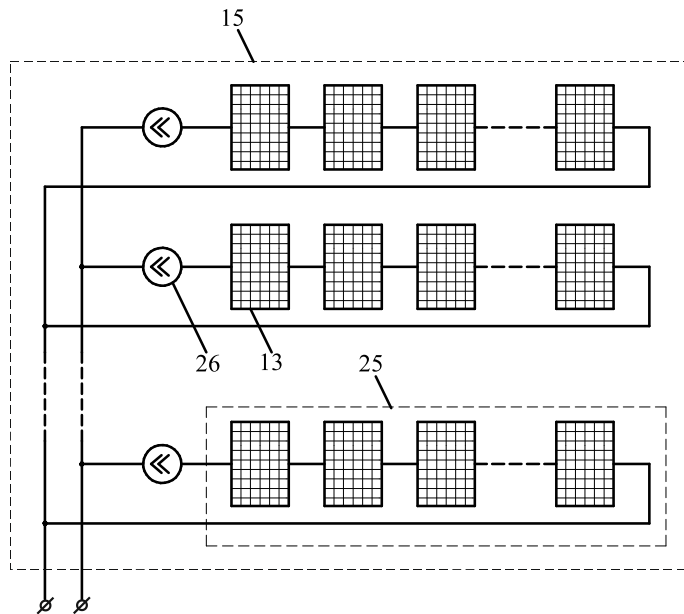


Рис. 10. Схема коммутации дополнительных ФЭМ в батарею
Fig. 10. Connection diagram of additional photovoltaic battery

Для размещения фотоэлектрических модулей указанная верхняя периферийная поверхность составлена из плоских граней 24, расположенных по периметру верхнего кольцевого диска 4 с угловым шагом по азимутальному углу $\Delta\theta$. При этом параллельное соединение групп фотоэлектрических модулей 25 в батарею фотоэлектрических модулей 15 позволяет достичь требуемой мощности. Устройства согласования по напряжению 26, инверторы 16 и 17, аккумуляторная батарея 18 конструктивно расположены в отсеках ротора, приближенных к оси его вращения, например, на верхней ступице 7 или на нижней ступице 8, что облегчает доступ к ним технического персонала для обслуживания и ремонта. Из-за разницы освещенности фотоэлектрических модулей на отдельных гранях 24 в разных группах фотоэлектрических модулей 25 будут формироваться различные значения напряжения. Согласование по напряжению групп фотоэлектрических модулей 25 производится последовательно включенными устройствами согласования по напряжению 26. Устройства согласования по напряжению 26 построены по любой из известных схем [18]. Количество фотоэлектрических модулей N_g в каждой группе 25 определяется входным напряжением V_{dc} независимого инвертора 16 и напряжением в точке максимальной мощности фотоэлектрического модуля V_{mp} согласно выражению $N_g = \frac{V_{dc}}{V_{mp}}$. Количество групп фотоэлектрических модулей определяется согласно выражению $\frac{V_b}{V_g}$, где N_b – общее количество фотоэлектрических модулей в батарее 15.

Шаг между группами по азимутальному углу $\Delta\theta$ (в градусах) определяется из выражений

$$\Delta\theta = 360 \cdot \frac{V_g}{V_b},$$

$$N_g = \frac{V_{dc}}{V_{mp}}.$$

Каждая группа 25 соседних фотоэлектрических модулей расположена полностью в пределах одной плоской грани 24, например, с вершинами в точках a, b, c и d (см. Рис.7). При этом все фотоэлектрические модули 13 каждой группы 25 установлены в тепловом контакте с металлической поверхностью соответствующей плоской грани 24 верхнего кольцевого диска 4, обдуваемой высокоскоростными струями воздуха.

Установка фотоэлектрических модулей на внутренней наклонной поверхности верхнего кольцевого диска 4 и их коммутация может осуществляться аналогично. Таким образом, за счет размещения дополнительных фотоэлектрических модулей на наклонных поверхностях верхнего кольца ветротурбины может быть увеличена суммарная мощность ВЭУ-ФЭУ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ

Поскольку ветровой и фотоэлектрический компоненты гибридной морской энергоустановки могут работать не только по отдельности (ветровой – ночью, а фотоэлектрический – в штиль), но и выдавая энергию в сеть одновременно, то номинальная мощность всего комплекса складывается из мощностей обоих указанных компонентов:

$$N = N_1 + N_2 \quad (1)$$

где N_1 – номинальная выходная мощность ВЭУ в

гибридной энергоустановке, N_2 – номинальная выходная мощность ФЭУ в гибридной энергоустановке. Представляется допустимым рассчитать N_1 и N_2 индивидуально по соответствующим методикам, оценивая некоторое взаимовлияние фотоэлектрических и аэродинамических процессов.

Так, для N_1 из уравнения энергетического баланса имеем:

$$N_1 = N_{BT} \eta_{ПР} \eta_{ПР} \eta_{ГД} \eta_{ТГ} \quad (2)$$

где N_{BT} – механическая мощность на ступице ветротурбины, $\eta_{ПР}$ – коэффициент, учитывающий потери мощности на работу приводов поворота лопастей, $\eta_{ГД}$ – коэффициент, учитывающий гидродинамические потери (рассеивание энергии в воде при вращении понтона), $\eta_{ТГ}$ – коэффициент, учитывающий потери мощности в гидростатическом преобразователе энергии, $\eta_{ТГ}$ – КПД турбогенератора. Здесь механическая мощность на ступице ветротурбины в предположении постоянства скорости ветра определяется по известной формуле:

$$N_{BT} = 0,5 C_p \rho A u_B^3, \quad (3)$$

где C_p – коэффициент использования энергии ветра, ρ – плотность воздуха, A – ометаемая площадь ветротурбины, u_B – номинальная скорость ветра. Более точный расчет требует учета вертикальной стратификации скорости ветра, которую принято аппроксимировать логарифмической или степенной зависимостью.

Примем для оценочного расчета диаметр ветротурбины по осям лопастей равным 200 м, а высоту (размах) лопастей равной 40 м. Соответственно ометаемая площадь ветротурбины $A=8000 \text{ м}^2$. В работе [19] в результате цифрового моделирования методами компьютерной динамики жидкости для определения аэродинамических нагрузок от ветра с логарифмическим профилем и скоростью на высоте 10 м над уровнем моря $u_0 = 25 \text{ м/с}$ при указанных размерах плавучей ветротурбины было получено: $C_p = 0,49$, а $N_{BT} = 51,4 \text{ МВт}$. Но в качестве рационального значения для районов шельфа с высоким ветропотенциалом можно принять $u_0 = 16 \text{ м/с}$. Тогда пересчет по формуле (3) дает значение механической мощности на ступице ветротурбины $N_{BT} = 13,475 \text{ МВт}$. Проведенный ранее анализ потерь энергии при преобразовании энергии показал, что в описанной конструкции ВЭУ одними из наибольших являются гидравлические потери на вращение крупногабаритного плавучего ротора, которые существенно зависят от его конструкции, а также волнового климата. В работе [20] было показано, что за счет явления образования «водяного кольца» для полупогружного понтона с волнением 3 балла гидравлические потери будут снижаться до 7% ($\eta_{ГД}=0,93$) и даже менее. При этом лобовое сопротивление испытывает только относительно небольшая часть поверхности ротора во время прохождения гребня волны над понтоном. Достижимы также следующие коэффициенты

потерь: $\eta_{ПР}=0,985$; $\eta_{ПР} = 0,9$; $\eta_{ТГ} = 0,98$.

Тогда по формуле (2) получаем $N_1 = 10,88 \text{ МВт}$.

Можно предположить небольшое ухудшение аэродинамического качества плавучей ветротурбины из-за неидеально обтекаемой формы верхнего кольца после монтажа ФЭМ на его поверхностях (плоские грани на конических поверхностях, неплоскостность ФЭМ). Примем несколько меньшее значение коэффициента использования энергии ветра: $C_p = 0,48$. Вторым фактором, способным повлиять на мощность ветротурбины в гибридной энергоустановке являются дополнительные восходящие потоки воздуха из-за нагрева поверхностей верхнего кольца при работе ФЭМ. Но их влияние локально и интегрально, по-видимому, будет практически нейтральным, т.к. если с наветренной стороны кольца восходящий поток усиливает наблюдаемый в плоскости кольца вихрь, являющийся основным фактором вертикальной циркуляции [21], то на подветренной стороне кольца он ослабляет вихрь примерно в такой же степени. Тогда из (2) и (3) для принятых параметров получаем номинальную выходную мощность ВЭУ в гибридной энергоустановке $N_1 = 10,65 \text{ МВт}$.

Потенциальная годовая выработка энергии на ВЭУ:

$$E_{pot} = 8766 \int_0^{\infty} p(u) f(u) du, \quad (4)$$

где 8766 – среднее число часов в году, u – скорость ветра, $p(u)$ – кривая зависимости мощности ветротурбины от скорости ветра для стандартных условий, задается графически или таблично по результатам испытаний ВЭУ. $f(u)$ – нормализованная плотность вероятности скорости ветра на уровне ступицы ротора.

Обычно $f(u)$ выражается согласно распределению Вейбулла или Релея:

$$f(u) = \frac{k}{A} \left(\frac{u}{A}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{u}{A}\right)^k}, \quad (5)$$

где k – коэффициент формы, A – коэффициент масштаба. Коэффициенты определяются экспериментально по данным метеонаблюдений. Типовые значения: $k = 2,0$; $A = 8,5$.

Приняв скорость ветра включения $u_{вкл}$ равной 3 м/с, а скорость ветра выключения $u_{выкл}$ – 25 м/с, с учетом полученных выше номинальных значений можно сформировать кривую $p(u)$ с постоянным значением мощности выше номинальной скорости ветра u_0 , а затем по формуле (4) дать численную оценку потенциальной годовой выработки энергии на ВЭУ:

$$E_{pot} \approx 8766 \sum_{u_{вкл}}^{u_{выкл}} p(u_i) f(u_i) \Delta u, \quad (6)$$

где Δu – шаг по скорости ветра.

После подстановки значений в итоге получаем $E_{pot} = 1,73 \cdot 10^7 \text{ кВт-ч}$.

Рассчитаем теперь мощность N_2 ФЭУ, которая может быть получена от ФЭМ, установленных на

верхнем кольце такой ветротурбины. С точки зрения получения максимальной энерговыработки целесообразным представляется размещение ФЭМ не только на верхней поверхности кольца (14), но и на его наклонных гранях (24). Таким образом, потенциальная годовая энерговыработка ФЭУ (S_{pot}) составит:

$$S_{pot} = S_H + S_I, \quad (7)$$

где S_H и S_I - потенциальная годовая энерговыработка ФЭМ, расположенных на горизонтальной и наклонной поверхностях кольца соответственно.

Расчет потенциальной годовой энерговыработки ФЭМ, расположенных на верхней части кольца, проводится по формуле:

$$S_H = S_0 \pi h (d_h - h_h) \eta_{pv} k_{phh} k_{refh}, \quad (8)$$

где S_0 - среднегодовое значение суммарной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность; h - ширина кольцевой горизонтальной поверхности; d_h - диаметр кольцевой горизонтальной поверхности; η_{pv} - КПД ФЭМ; k_{phh} - коэффициент заполнения кольцевой горизонтальной поверхности ФЭМ; k_{refh} - коэффициент, учитывающий потери на отражение и загрязнение ФЭМ.

Для оценочных расчетов, среднегодовое значение суммарной солнечной радиации согласно справочным данным [22] для Республики Крым примем равным $S_0 = 1,94$ МВт·ч/м², ширину кольцевой верхней поверхности $h = 3$ м, диаметр кольцевой горизонтальной поверхности $d_h = 195$ м, КПД ФЭМ, учитывая хороший теплоотвод, $\eta_{pv} = 0,16$, коэффициент заполнения кольцевой горизонтальной поверхности ФЭМ $k_{phh} = 0,95$, коэффициент, учитывающий потери на отражение и загрязнение ФЭМ $k_{refh} = 0,72$. Тогда потенциальная годовая энерговыработка ФЭМ, расположенных на верхней части кольца, составит 360 МВт·ч.

Численную оценку потенциальной годовой энерговыработки ФЭМ, расположенных на наклонной части кольца, можно произвести по формуле:

$$S_I = (S_c + D + R_{фон} + R_{отр}) \pi d_i h_i \eta_{pv} k_{phi} k_{refi}, \quad (9)$$

где S_c , D , $R_{фон}$, $R_{отр}$ - суммарные значения прямой, диффузной (ореальной), фоновой и отраженной от водной поверхности солнечной радиации, приходящей на наклонную грань; d_i - диаметр кольцевой наклонной поверхности; h_i - ширина наклонной грани; k_{phi} - коэффициент заполнения наклонной грани; k_{refi} - коэффициент, учитывающий потери на отражение и загрязнение ФЭМ, расположенных на наклонной грани.

Расчет суммы годовых суммарных значений прямой, диффузной (ореальной), фоновой и отраженной от водной поверхности солнечной радиации производился согласно методикам [23, 24] для каждой из 24 граней и составил при использовании модели Хейя 1,155 МВт·ч/м², а при использовании модели Клачера 1,13 МВт·ч/м².

Исходя из этого для оценочных расчетов было принято среднее значение - 1,14 МВт·ч/м². Учитывая то, что ширина наклонных плоских граней равна $h_i = 2,7$ м, коэффициент заполнения составляет $k_{phi} = 0,9$, а коэффициент, учитывающий потери на отражение и загрязнение ФЭМ примем $k_{refi} = 0,79$, значение потенциальной годовой энерговыработки ФЭМ, расположенных на наклонной части кольца составит 206 МВт·ч.

Окончательно, потенциальная годовая выработка энергии фотоэлектрической части энергокомплекса составит 572 МВт·ч.

ВЫВОДЫ

В работе была рассмотрена проблема нестабильности выработки энергии из возобновляемых источников и возможные пути ее решения. Приведены преимущества использования гибридных установок, использующих от нескольких возобновляемых источников энергии, в особенности, ветро-солнечных энергетических установок. При этом на примерах показано, что совмещение фотоэлектрической и ветроэнергетической установок традиционных конструкции является нецелесообразным решением по ряду причин. Но в настоящее время ведется работа над проектами ветроустановок нового типа, в конструкции которых использование фотоэлектрических преобразователей представляется весьма перспективным. Одной из них является ветроэнергетическая морская установка, имеющая в верхней части конструкции кольцевую поверхность, пригодную для размещения фотоэлектрических модулей. Описаны конструктивные решения и предложены схемы коммутации дополнительных фотоэлектрических модулей, расположенных на периферийной конической поверхности верхнего кольца ветротурбины. Немаловажным достоинством таких вариантов размещения фотоэлектрических модулей в гибридной энергоустановке является также то, что они позволяют повысить энергетическую эффективность фотоэлектрических преобразователей за счет интенсификации теплоотвода от поверхности фотоэлементов.

Оценочные расчеты энергетических параметров комбинированной ветро-солнечной установки показывают, что потенциальная годовая выработка энергии на ВЭУ составляет 17300 МВт·ч, а ФЭУ, установленной на верхнем кольце ветротурбины, 572 МВт·ч. Несмотря на то, что соотношение энерговыработки ФЭУ составляет примерно 3% от общей в гибридном энергокомплексе, расчеты показывают, что ее достаточно для электроснабжения приводов поворота лопастей и других потребителей собственных нужд ВЭУ с выдачей энергии в сеть.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обзор перспективных технологий в секторе альтернативной энергетики // Московская биржа URL: <https://fs.moex.com/files/16553>
2. Дорофеев В.В. Активно-адаптивная сеть – новое качество ЭЭС России / В.В. Дорофеев, А.А. Макаров // Бесплатная электронная версия журнала «Энергоэксперт» № 4, 2009 – С. 28-34.
3. Харченко В.В. Микросеть на основе ВИЭ для энергоснабжения сельских территорий / В.В. Харченко, В.Б. Адомавичюс, В.А. Гусаров, Д.С. Стребков // International conference “Energy of moldova – 2012”, Chisinau, Republic of Moldova, 2012, pp. 562-567.
4. Антипов В.Н., Грозов А.Д., Иванова А.В. Мировая ветроэнергетика мегаваттного диапазона мощностей // Инноватика и экспертиза. 2019. № 2 (27). С. 94–105. DOI: 10.35264/1996-2274-2019-294-105.
5. Кузнецов П. Н., Гусева Е. В., Борисов А. А. Современное состояние и направления развития фотоэлектрических энергоустановок // Энергетические установки и технологии. 2018. № 3. С. 51–57.
6. Шилкина С. В. Экономика развития электроэнергетики на возобновляемых источниках энергии в России с учетом мировых тенденций // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 3 (68). С. 137–146. DOI: 10.23968/1999-5571-2018-15-3-137-146.
7. Beaudin M., et al. Energy storage for mitigating the variability of renewable energy sources: An updated review/ Energy for Sustainable Development, Vol. 14, 2014. pp 302-314.
8. Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series. Solar Photovoltaics. June, 2012. Volume 1: Power Sector Issue 4/5. «IRENA», United Arab Emirates June, 2012.
9. Лагов П.Б. Способ отбора электрической энергии от батарей фотоэлектрических преобразователей /П.Б. Лагов, А.С. Дренин: Пат. РФ 2551913, МПК F03D 3/02, F03D 7/04, H02S 10/12, Заявлено 12.12.2013; Оpubл. 10.12.2013 Бюл. №16.
10. Голощапов В.М. Энергоэффективная солнечно-ветровая энергетическая установка /В.М. Голощапов, А.А. Баклин, В.В. Бурлов и др.: Пат. РФ 2611923, МПК F03D1/04, F03D1/06, F24J2/08, H02S10/12 Заявлено 05.10.2015; Оpubл. 01.03.2017 Бюл. №7.
11. Букин О.А. Система автономного электро- и теплоснабжения жилых и производственных помещений /О.А. Букин, Н.В. Сгребнев, В.Н. Забильский: Пат. РФ 2535899, МПК H02S 10/12, H02S 10/30, H02S 40/38 Заявлено 26.02.2013; Оpubл. 20.12.2014 Бюл. №35.
12. Кувшинов В.В. Фототермопреобразователь солнечной энергии /В.В. Кувшинов, А.И. Башта А.И., В.А. Сафонов: Пат. РФ 150121, МПК H 01 L 31/00 заявлено 17.10.2014; Оpubл. 27.01.2015, Бюл. № 3.
13. Чебоксаров Вал. В. Ветроэнергетическая установка /Вал. В. Чебоксаров, Вик. В. Чебоксаров: Пат. РФ №2381381, Оpubл. 2010 Бюл. №4.
14. Чебоксаров Вал. В., Чебоксаров Вик. В. Исследование крупногабаритных плавучих ветротурбин/ Вестник ДВО РАН, 2005, №6, с. 46-51.
15. Cheboxarov Victor V, Cheboxarov Valery V. WEMU Design: Large Capacity Low-Speed Vertical-Axis Wind Turbines with Rotary Blades/ Wind Turbines: Types, Economics and Development, 2010, Nova Science Publishers, NY, USA, pp 199 - 221.
16. Cheboxarov, Victor V, Cheboxarov, Valery V, Bekker AT. Aerodynamic Efficiency Prediction of Large Cross-Flow Turbine/ Proc 14th Int Offshore and Polar Eng Conf, ISOPE, Toulon, 2004, Vol 1, pp.150-157.
17. Solar Inverters // SMA Solar Technology AG URL: <https://www.sma.de/en/products/solarinverters.html>
18. Кузнецов П. Н., Юфеев Л. Ю. Повышение эффективности работы фотоэлектрических преобразователей при параллельной и смешанной коммутации // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2018. № 8 (200). С. 78–81.
19. Cheboxarov Victor V., Cheboxarov Valery V. Analysis of Air Flow and Deformations of Large-Scale Floating Wind Turbine/ Proc. of the Intern. Conference "Renewable Energy-2006", Makuhari Messe, Japan, 2006, pp 759 – 762.
20. Cheboxarov, Victor V, Cheboxarov, Valery V. Research of Behavior of Large Rotary Pontoon of Offshore Wind Turbine in Waves/ Proc 9th Pacific/Asia Offshore Mechanics Symposium, ISOPE, Busan, Korea, PACOMS-2010, pp.106-113.
21. Чебоксаров Вик. В., Чебоксаров Вал. В. Вертикальная циркуляция воздуха в низкоскоростной ветротурбине поперечного потока с поворотными лопастями/ Письма в Журнал технической физики. – 2008, том 34, вып. 2, с. 19-27.
22. Справочник по климату СССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1966. – Вып. 26. – Ч. 1. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. – 2-ое изд. – 78 с.
23. Назаров Б.И., Салиев М.А., Махмудов А.Н., Абдуллаев С.Ф. Влияние аэрозольного загрязнения атмосферы на работу солнечных приёмников // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. - Душанбе: Президиум Академии наук Республики Таджикистан, 2016. - С. 206-213.
24. Шакиров В.А. Методика оценки прихода суммарной солнечной радиации на наклонные поверхности с использованием многолетних архивов метеорологических данных/ Системы. Методы. Технологии., Братск, №4(36), 2017, с. 115-121.

REFERENCES

1. Review of promising technologies in the alternative energy sector // Moscow Exchange URL:

<https://fs.moex.com/files/16553>

2. Dorofeev V.V. Actively adaptive network - new quality of UES of Russia / V.V. Dorofeev, A.A. Makarov // Free electronic version of *Energoexpert* magazine No. 4, 2009 - p. 28-34.

3. Kharchenko V.V. The Micro-grid based on renewable energy for power supply in rural areas / V.V. Kharchenko, V. B. Adomavicius, V.A. Gusarov, D.S. Strebkov // International conference "ENERGY OF MOLDOVA - 2012. REGIONAL ASPECTS OF DEVELOPMENT" October 4-6, 2012- Chisinau, Republic of Moldova - P 562 - 567.

4. Artemova E. Sun Energy [Electronic resource]: Interfax-Russia online publication. - Access mode: <http://www.interfax-russia.ru/South/view.asp?id=545580>

5. Kuznetsov P.N. The current state and development directions of photovoltaic power plants / P.N. Kuznetsov, E.V. Guseva, A.A. Borisov // *Power plants and technologies* No. 3, 2018, pp. 51-57

6. Shilkina S.V. Economics of the development of electric power industry on renewable energy sources in Russia, taking into account global trends / S.V. Shilkin // *Bulletin of Civil Engineers*, No. 3 (68), 2018, pp. 137-146, DOI: 10.23968 / 1999-5571-2018-15-3-137-146

7. Beaudin M., et al. Energy storage for renewable energy sources: An updated review / *Energy for Sustainable Development*, Vol. 14, 2014. pp 302-314.

8. Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series. Solar Photovoltaics. June, 2012. Volume 1: Power Sector Issue 4/5. IRENA, United Arab Emirates June, 2012.

9. Lagov P.B. The method of selection of electric energy from batteries of photovoltaic cells / P. B. Lagov, A.S. Drenin: Pat. RF 2551913, IPC F03D 3/02, F03D 7/04, H02S 10/12, Declared 12/12/2013; Publ. 12/10/2013 Bull. №16.

10. Goloshchapov V.M. Energy efficient solar-wind power installation / V.M. Goloshchapov, A.A. Baklin, V.V. Burlov et al.: Pat. RF 2611923, IPC F03D1 / 04, F03D1 / 06, F24J2 / 08, H02S10 / 12 Declared 10/05/2015; Publ. 03/01/2017 Bull. №7.

11. Bukin O.A. Autonomous system of electricity and heat supply of residential and industrial premises /O.A. Bukin, N.V. Sgrebnev, V.N. Zabilsky: Pat. RF 2535899, IPC H02S 10/12, H02S 10/30, H02S 40/38 Declared 02.26.2013; Publ. 12/20/2014 Bull. No. 35

12. Kuvshinov V.V. Photothermal transducer of solar energy / V.V. Kuvshinov, A.I. Bashta A.I., V.A. Safonov: Pat. Of the Russian Federation 150121, IPC H 01 L 31/00 announced 10.17.2014; Publ. 01/27/2015, Bull. Number 3.

13. Cheboxarov Val. B. Wind Turbine / Val. V.

Cheboxarov, Vic. V. Cheboxarov: Pat. Of the Russian Federation No. 2381381, Publ. 2010 Bull. №4.

14. Cheboxarov Val. V., Cheboxarov Vick. B. Study of large-sized floating wind turbines / *Vestnik DVO RAN*, 2005, No 6, p. 46-51.

15. Cheboxarov Victor V, Cheboxarov Valery V. WEMU Design: Large Capacity Low-Speed Vertical-Axis Wind Turbines with Rotary Blades/ *Wind Turbines: Types, Economics and Development*, 2010, Nova Science Publishers, NY, USA, pp 199 - 221.

16. Cheboxarov, Victor V, Cheboxarov, Valery V, Bekker AT. Aerodynamic Efficiency Prediction of Large Cross-Flow Turbine / *Proc 14th Int Offshore and Polar Eng Conf, ISOPE, Toulon, 2004, Vol 1, pp.150-157.*

17. Solar Inverters // SMA Solar Technology AG URL:

<https://www.sma.de/en/products/solarinverters.html>

18. Kuznetsov P.N. Improving the efficiency of photovoltaic converters in parallel and mixed switching / P.N. Kuznetsov, L.Yu. Yuferev // *Plumbing, heating, air conditioning*, No. 8 (200), 2018, pp. 78-81

19. Cheboxarov Victor V., Cheboxarov Valery V. Analysis of the Large-Scale Floating Wind Turbine / *Proc. of the Intern. Conference "Renewable Energy-2006"*, MakuhariMesse, Japan, 2006, pp 759 - 762.

20. Cheboxarov, Victor V, Cheboxarov, Valery V. Research of Behavior of Large Rotary Pontoon of Offshore Wind Turbine in Waves/ *Proc 9th Pacific/Asia Offshore Mechanics Symposium, ISOPE, Busan, Korea, PACOMS-2010*, pp.106-113.

21. Cheboxarov Vic. V, Cheboxarov Val. V. Vertical Air Circulation in a Low-Speed Lateral Flow Wind Turbine with Rotary Blades/ *Technical Physics Letters*, 2008, Vol. 34, No. 1, pp. 52-55.

22. Reference to the climate of the USSR. - L.: Gidrometeoizdat, 1966. - Issue. 26. - Part 1. Solar radiation, radiation balance and sunshine. - 2nd ed. - 78 p.

23. Nazarov B.I., Saliev M.A., Makhmudov A.N., Abdullaev S.F. Effect of aerosol pollution of the atmosphere on the work of solar receivers // *Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. - Dushanbe: Presidium of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan*, 2016. - p. 206-213.

24. Shakirov V.A. Methodology for estimating the arrival of total solar radiation on inclined surfaces using long-term archives of meteorological data / *Systems. Methods. Technologies.*, Bratsk, №4 (36), 2017, p. 115-121.

HYBRID WIND-SOLAR OFFSHORE POWER PLANTS

Cheboxarov V.V., Kuznetsov P.N.

Sevastopol State University, 299053, Sevastopol, Universitetskaya str., 33, E-mail: VVCheboxarov@sevsu.ru

Abstract. The paper deals with an analysis of the problem of instability of power output from renewable energy sources and finding possible solutions. Advantages of developing hybrid power plants in particular wind-PV plants are shown. Major engineering decisions in developing wind-PV power plants are reviewed. It was shown referring to several examples that mounting of PV arrays upon conventional wind rotors is hardly effective due to essential reasons. A schematic of the large-scale wind offshore power plant having vertical axis turbine is briefly described. Mounting of PV arrays upon top ring surface of this turbine seems a promising solution. Its advantages, e.g. improved power efficiency of the PV cells due to increased heat flow from their surfaces are presented. Two configurations of mounting of PV modules on the wind rotor, corresponding connection diagrams, and current collector unit are described. Workflow of the hybrid power plant is explained. Basic characteristics of the hybrid wind-PV power plant are derived in preliminary calculations. Their results yield 19,300 MWh of annual energy output from wind turbine and 572 MWh of annual energy output from the combined PV cells mounted on the wind turbine top. It is shown that PV cells provide enough energy to power drives of blade rotation as well as for all other self needs so requirements to capacity of expensive electric accumulators are decreasing.

Subject: New types of hybrid solar-wind power plants and their power efficiency

Materials and methods: The research has theoretic and methodological foundations in works of Russian and foreign scientists in area of renewable energy. Analytic research methods are used. They include models of incident solar radiation originated by Hey and Clacher as well as the Weibull distribution for calculation of the probability of a wind velocity.

Results: A problem of instability of power output from renewable energy sources was analyzed. It was shown that developing of hybrid power plants in particular wind-PV plants is actual and effective solution of this problem. However, combining of PV plant with conventional wind plants does not give a required positive effects due to some reasons. Wind energy marine unit with an extended top ring surface was considered as an alternative design. This surface fits to mount PV cells. Results of preliminary calculations of power parameters of the hybrid offshore wind-PV power plant show that if wind turbine diameter is 200 m, its annual energy output is 19,300 MWh while PV cells mounted on the turbine's top provide 572 MWh annually.

Conclusions: Instability of renewable energy sources is a serious problem having a strong impact on energy costs. The problem can be mitigated essentially through using of hybrid power plants, especially wind-PV plants. However, hybridization with conventional types of wind turbines does not provide a significant synergy. Mounting PV modules upon a top ring of large-scale wind energy marine unit seems a promising solution. It is advantageous also since power efficiency of PV cells is increased due to improved heat flow from the cells. Despite the fact that PV cells provide only about 3% of total power capacity, it is enough to power drives of blade rotation as well as all other self needs of wind power plant.

Key words: solar-wind power plant, wind energy, photovoltaic, offshore power plant, renewable energy, hybrid plant, energy resources.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ УСТАНОВОК ОБРАТНОГО ОСМОСА ПРИ ОЧИСТКЕ ФИЛЬТРАТОВ ПОЛИГОНОВ ТБО

Первов А.Г., Ширкова Т.Н.

ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет"

Аннотация. Проведены лабораторные и пилотные исследования по очистке фильтрата полигонов ТБО с применением метода обратного осмоса с получением воды, пригодной для сброса ее в водоемы рыбохозяйственного назначения. В случае применения химического осаждения органических веществ, содержащихся в фильтрате ТБО (с применением коагуляции, флокуляции) с последующей обработкой с применением метода обратного осмоса, Разработанная технология предусматривает применение химического осаждения органических веществ, определяемых показателем ХПК, с последующей обработкой методом обратного осмоса. Расход концентрата снижается до величины, не превышающей 0,5 - 1 % от величины общего расхода поступающего на очистку фильтрата ТБО, что делает возможным его удаление вместе с обезвоженным осадком и утилизацию (сжигание, остекловывание и др.). Представлены результаты обработки экспериментальных данных, позволяющие определить: требуемую площадь поверхности мембран и количество мембранных аппаратов; типы мембранных аппаратов; количество ступеней установки обратного осмоса; величины рабочего давления и выхода фильтрата на каждой из ступеней. На основе проведения оптимизационных исследований определены значения рабочего давления, соответствующие минимальной величине эксплуатационных затрат.

Предмет исследования: фильтраты полигонов ТБО с различного состава, определяемого показателями ХПК (химическое потребление кислорода), концентраций ионов аммония, нитрат -ионов, фосфат ионов, а также жесткости и щелочности; определение расходов сбрасываемого концентрата и изучение возможностей их сокращения; определение затрат на реагенты и электроэнергию.

Материалы методы: изучены схемы проведения процессов очистки. Представлены и рассмотрены химические уравнения проходящих в сооружениях процессов, определены стехиометрические концентрации используемых реагентов. Составлены балансовые схемы, позволяющие определить расходы фильтрата ТБО, очищенной воды, осадка и концентратов установок обратного осмоса, а также концентрации в них различных загрязнений на каждой ступени очистки на входе и выходе из сооружений.

Ключевые слова: фильтрат полигонов ТБО; обратный осмос; нанофильтрация; осадкообразование на мембранах; выход фильтрата; снижение расхода концентрата.

ВВЕДЕНИЕ

Полигоны хранения твердых бытовых отходов (ТБО) часто являются источником заражения поверхностных и подземных вод [1]. Применение метода обратного осмоса в настоящее время широко используется в доочистке сточных вод, в том числе и для очистки фильтрата полигонов ТБО [2,3]. Сложность очистки фильтратов ТБО состоит в необходимости обрабатывать воду с высокими значениями ХПК (от 1000 до 3000 мг/л) и общего солесодержания (от 600 до 20000 мг/л) [3]. Ввиду сложности составов фильтратов ТБО при обработке их методом обратного осмоса используют комбинированные схемы очистки с применением различных методов [3,4], очистку "напрямую" с применением обратноосмотических мембран [5,6], а также с предварительной коагуляцией и осаждением высокомолекулярных органических веществ [7,8].

Серьезную проблему при использовании метода обратного осмоса для очистки фильтрата полигонов ТБО представляет необходимость утилизации концентрата, который традиционно составляет от 15 до 30 процентов общего расхода воды [6,8,9]. Как уже говорилось выше, наиболее технически и экономически "приемлемым" методом утилизации концентрата является возврат его в "тело" полигона [1,2]. При этом все удаленные загрязнения

возвращаются в "тело" полигона. Но расход концентрата должен иметь минимально возможное значение, в противном случае наблюдается рост концентраций всех загрязнений в фильтрате полигона ТБО с течением времени [7,8]. В работе [10] авторами описывалась технология сокращения расхода концентрата при доочистке биологически очищенной воды методом обратного осмоса, в соответствии с которой расход концентрата снижается до величины, не превышающей 0,5-1% от расхода исходной воды и все задержанные мембранами загрязнения удаляются с установки вместе с обезвоженным осадком.

Поэтому целью настоящей работы стало экспериментальное определения параметров и характеристик процесса обратного осмоса при обработке фильтрата полигона ТБО как после реагентной обработки и осаждения большей части органических загрязнений, так и "напрямую", без затрат на реагентное осаждение [2,7]. По результатам экспериментов определены величины эксплуатационных затрат (на замену мембран, на реагенты, на электроэнергию) для двух разных технологий очистки фильтрата полигона ТБО. В случае применения предварительной реагентной обработки технология включает осаждение органических соединений из фильтрата и его последующую обработку на мембранной установке обратного осмоса с получением очищенной воды и

осадка с влажностью 80%. Концентрат установки обратного осмоса утилизируемая и отводится с установки вместе с осадком [10]. В случае обработки фильтрата полигона ТБО методом обратного осмоса "напрямую" используется только осадки взвешенных веществ. Концентрат установки обратного осмоса составляет не более 5 % от объема исходного поступающего на очистку фильтрата ТБО и возвращается обратно в "тело" полигона.

В настоящей работе рассмотрены возможности очистки фильтрата полигонов ТБО методом обратного осмоса после проведения реагентной обработки и осадки большей части гуминовых веществ. Такой подход к очистке сточных вод уже прорабатывался рядом авторов [2,7]. Специально для очистки сточных вод используются разработанные мембранные аппараты с «открытым» каналом, позволяющие обрабатывать сточные воды с высоким содержанием взвешенных веществ [11]. Проблему создаёт то обстоятельство, что показатель ХПК сточной воды уже после реагентной обработки имеет очень высокое значение (200-300 мг/л), что может отрицательно сказываться на работе мембран, вызывая образование органических осадков. Кроме того, влияние высоких концентраций органических веществ на производительность мембран также мало исследовано [8]. Органические вещества различной природы и молекулярного веса, определяемые показателем ХПК, могут адсорбироваться на мембранной поверхности и коагулировать. Результаты проведённых ранее исследований позволяют предположить, что накопление органических загрязнений не оказывает значительного влияния на процесс обратного осмоса и может контролироваться с применением химических промывок [11,12]. Вопросы утилизации концентрата составляют более серьёзную проблему при очистке сточных вод с высоким содержанием ХПК «напрямую», чем в ранее описанных случаях при обработке биологически очищенных сточных вод [10]. При биологической очистке воды образуется избыточный активный ил, который составляет не менее 12 -15 кг на 100 куб. м очищаемой воды. Поэтому при влажности обезвоженного осадка 80% расход концентрата, удаляемого с осадком, может составлять около 1% расхода очищаемой воды. В случае очистки сточной воды полигонов ТБО, имеющей высокое значение ХПК при невысоком содержании взвешенных веществ, сократить расход концентрата до величины, не превышающей 0,2%, представляет серьёзную задачу [10].

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Целью проведения эксперимента было определение установки обратного осмоса для очистки сточных вод «напрямую» методом обратного осмоса с получением очищенной воды высокого качества (используемой для технических нужд или для сброса в водоемы рыбохозяйственного назначения) и обезвоженного осадка.

Расход концентрата установки определяется количеством осадка взвешенных веществ, удаляемых из воды. Поэтому для каждого случая, в зависимости от состава исходной воды, определяется количество воды, удаляемой с установки вместе с обезвоженным осадком. Для определения возможностей установки по сокращению объёма концентрата до заданной величины, были запланированы эксперименты по определению изменения производительности мембран в процессе увеличения концентраций солей и органических загрязнений в концентрате установки. Кроме того, в процессе увеличения значения ХПК в концентрате повышается опасность образования на мембранах отложений органических осадков, скорость образования которых предполагалось определить.

Эксперименты проводились на экспериментальной установке, показанной на рис.1 (4). Технологическая схема проведения экспериментов представлена на рис.1 (а), а общий вид установки показан на рис.1 (б). Использовались мембранные элементы типа 1812 с обратноосмотическими мембранами типа BLN и нанофильтрационными мембранами типа 90 NE. Площадь мембран в 1812 составляла 0,5 кв. метра. Использовалась сточная вода, прошедшая реагентную обработку с применением хлорного железа. ХПК воды после реагентного осадки гуматов составила 180-200 мг/л.

Электропроводность воды составляла 880 мг/л. Общая жесткость - 8 мг-экв/л. Концентрация иона аммония - 30 мг/л, концентрация нитрат-ионов - 32 мг/л. Химический состав фильтрата полигона ТБО в процессе обработки представлен в Таблице 1.

Исходная вода помещалась в бак исходной воды 1 (рис.4), откуда насосом 2 подавалась в мембранный аппарат 3, где разделялась на фильтрат и концентрат. Давление в аппарате регулировалось с помощью вентиля 4 и определялось по манометру 5. Концентрат после аппарата направлялся в бак исходной воды 1, а фильтрат - в бак сбора фильтрата

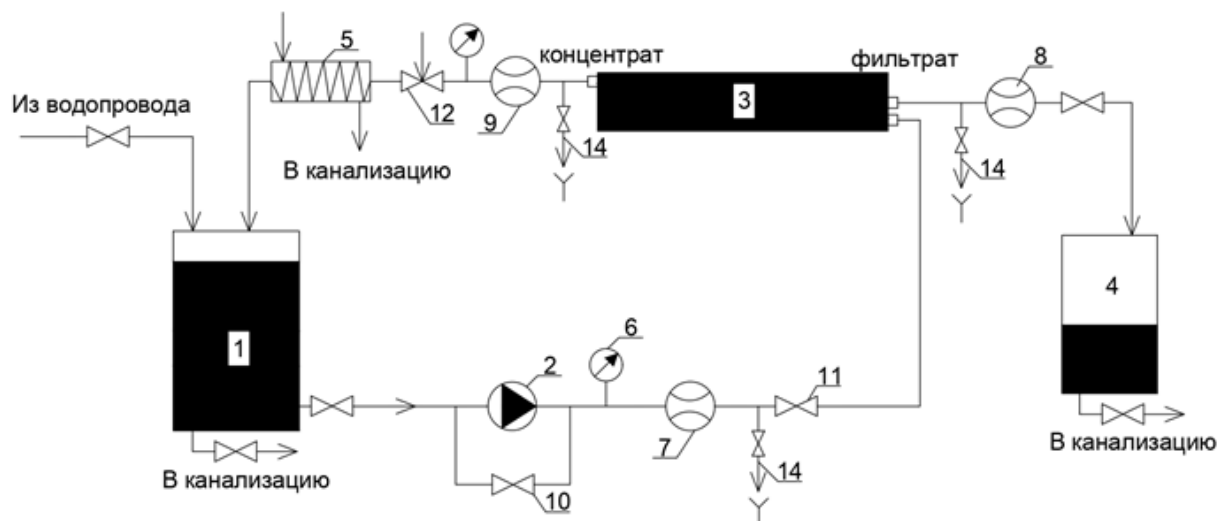


Рис.1 Схема экспериментальной мембранной установки:

- 1 - бак исходной воды
- 2 - насос
- 3 - мембранный элемент в напорном корпусе
- 4 - бак фильтрата
- 5 - теплообменник
- 6 - манометр
- 7,8,9 – расходомеры
- 10 - кран байпаса
- 11 - вентиль регулировки давления
- 12,13 - краны промывки.

Fig. 1 Schematic of the experimental membrane setup:

- 1 - source water tank
- 2 - pump
- 3 - membrane element in the pressure casing
- 4 - filtrate tank
- 5 - heat exchanger
- 6 - manometer
- 7,8,9 - flow meters
- 10 - bypass valve
- 11 - pressure control valve
- 12.13 - flushing valves.

Таблица 1. Результаты определения концентраций различных загрязнений в фильтре полигона ТБО в процессе очистки

Table 1. The results of determining the concentrations of various contaminants in the filter of the solid waste landfill during the purification process

	Исходный фильтрат	После реагентной обработки	После обратного осмоса 1 ступени	После обратного осмоса 2 ступени
1	ХПК - 1728 мг/л	ХПК - 605 мг/л	ХПК - 15 мг/л	ХПК - 8 мг/л
2	рН - 8,9	рН - 6,5	рН - 6,8	рН - 6,2
3	Кальций - 15,5 мг-экв/л	Кальций - 8,8 мг-экв/л	Кальций - 0,2 мг-экв/л	Кальций - 0,05 мг-экв/л
4	Щёлочность - 76,0 мг/л	Щёлочность - 13,6 мг/л	Щёлочность - 5,0 мг/л	Щёлочность - 2,1 мг/л
5	Аммоний - 425 мг/л	Аммоний - 92 мг/л	Аммоний - 3,1 мг/л	Аммоний - 0,2 мг/л
6	Нитраты - 65,5 мг/л	Нитраты - 42,1 мг/л	Нитраты - 5,85 мг/л	Нитраты - 2,73 мг/л
7	Хлориды - 2308 мг/л	Хлориды - 266 мг/л	Хлориды - 27 мг/л	Хлориды - 2 мг/л
8	Сульфаты - 627 мг/л	Сульфаты - 508 мг/л	Сульфаты - 0,68 мг/л	Сульфаты - 0,12 мг/л

Исходя из опыта обработки сточных вод с помощью обратноосмотических мембран [10,11], на первой ступени очистки сточной воды проводили обработку с применением обратноосмотических мембран BLN, уменьшив объём исходной воды в 7-10 раз. Далее снижение объёма концентрата производилось с помощью нанофильтрационными

мембран 90 NE, имеющих большую удельную производительность.

Значения концентраций ионов аммония, хлорид-ионов, сульфат-ионов, а также значения концентраций органических веществ, определяемых термином ХПК, показаны на рис. 2 (а), а на рис. 2 (б) представлена зависимость снижения

производительности мембранного аппарата от значения К при обработке фильтрата ТБО.

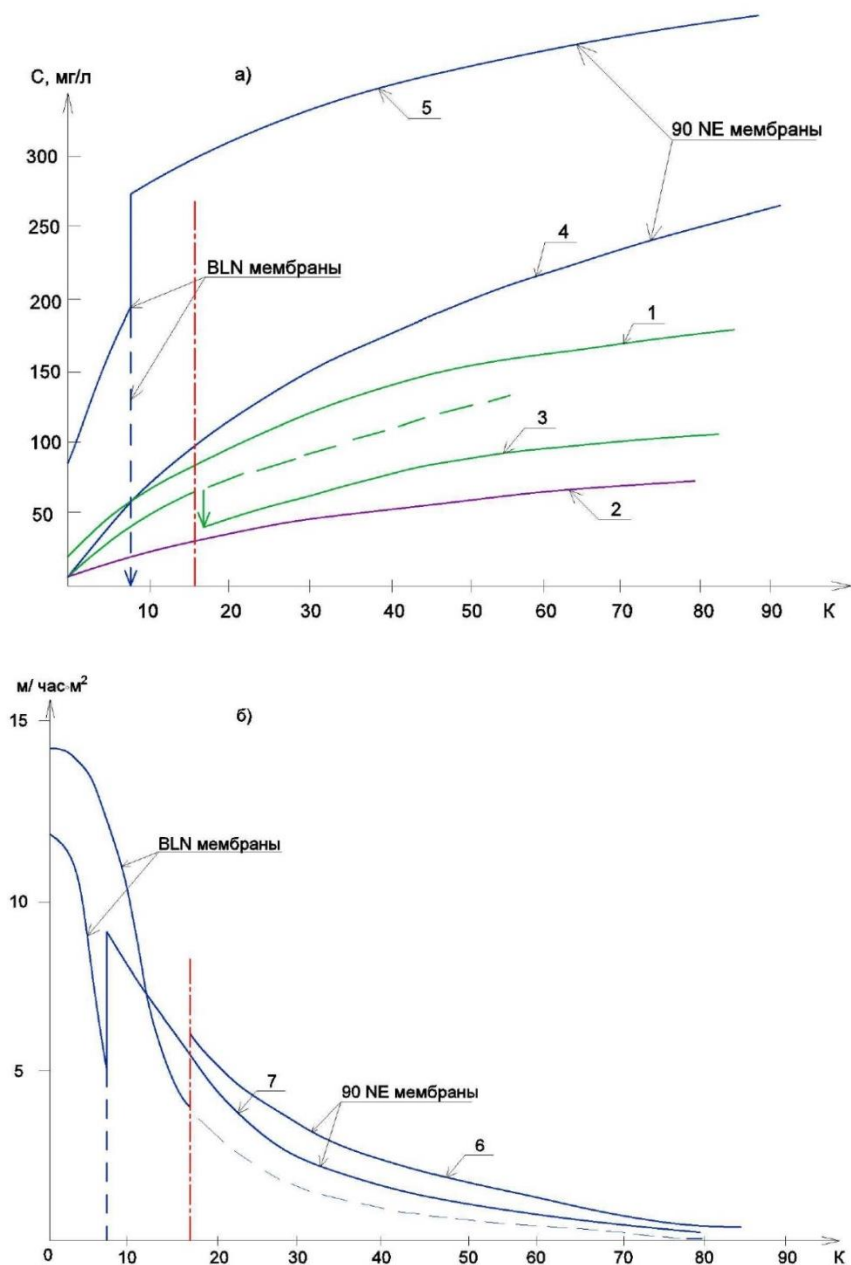


Рис.2. Результаты определения изменений качества очистки по различным ионам и снижения производительности мембран в процессе экспериментов: а) зависимость значений концентраций различных загрязнений в фильтрате обратноосмотических и нанофильтрационных мембран от значений К; б) изменение величины удельной производительности мембран с ростом величины К.

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1 - хлориды | 5 - ХПК (без реагентной обработки) |
| 2 - аммоний | 6 - производительность по фильтрату после реагентной обработки |
| 3 - ХПК (после реагентной обработки) | 7- производительность по фильтрату без реагентной обработки |
| 4 - сульфаты | |

Fig. 2. The results of determining changes in the quality of purification for various ions and a decrease in membrane performance during the experiments: a) the dependence of the values of the concentrations of various contaminants in the filtrate of reverse osmosis and nanofiltration mebranes on the values of К; б) the change in the specific performance of membranes with an increase in К.

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1 - chlorides | 5 - COD (without reagent treatment) |
| 2 - ammonium | 6 - filtrate performance after reagent treatment |
| 3 - COD (after reagent treatment) | 7 - filtrate performance without reagent treatment |
| 4 - sulfates | |

При работе мембранной установки происходит образование осадка органических веществ на поверхности мембран. Образование органических осадков на мембранах изучалось в ряде работ [6,12]. Доказано, что органические загрязнения адсорбируются на поверхности мембраны, при этом селективность мембран повышается, а производительность очень незначительно падает.

Процесс адсорбции быстро заканчивается после накопления «адсорбционного» слоя на мембранах, который после того, как «покроет» поверхность мембраны, «отталкивает» органические соединения [14]. Результаты определения скоростей образования органических отложений на мембранах показаны на рис. 3.

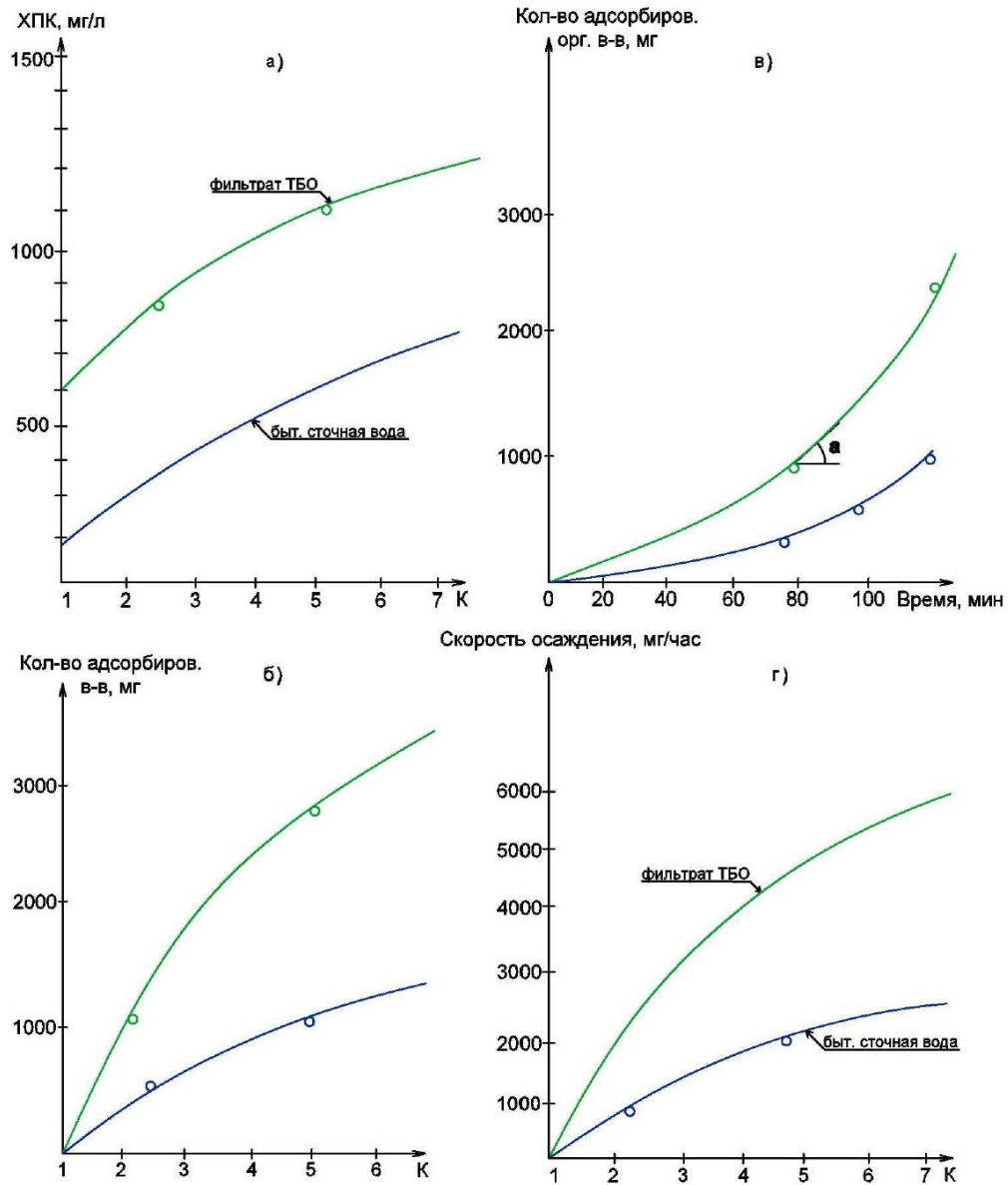


Рис.3. Определение скоростей адсорбции гуминовых веществ к поверхности обратноосмотической мембраны: а) зависимость значений ХПК от значения К в концентрате; б) зависимость количества адсорбированных органических веществ от К; в) зависимость количества адсорбированных органических веществ от времени эксперимента; г) зависимость скоростей накопления органических веществ от К.

Fig. 3. Determination of the rates of adsorption of humic substances to the surface of the reverse osmosis membrane: а) the dependence of the COD values on the value of K in the concentrate; б) the dependence of the amount of adsorbed organic substances on K; в) the dependence of the amount of adsorbed organic substances on the time of the experiment; д) the dependence of the rates of accumulation of organic substances on K.

Определение скоростей адсорбции органических веществ проводилось в соответствии с методикой, описанной в [12]. В процессе обработки фильтрата

ТБО определялись значения ХПК в фильтрате и концентрате для разных значений К и времени эксперимента. Количество адсорбированных

органических веществ определялось методом массового баланса, как разница между количеством органических веществ в исходной воде и в концентрате и фильтрате для разных значений К (рис.3,б). Скорости образования отложений определялись как тангенсы углов наклона касательных к кривым графиков зависимостей количества осадка от времени в точках, соответствующих выбранным значениям К (рис.3,в). Определение скоростей адсорбции позволяет прогнозировать количество

накопленного осадка на мембранах с течением времени. Удаление органических осадков с поверхности мембран производится путём проведения химических промывку мембранных аппаратов. На рис.4, показаны результаты экспериментов по проведению химических промывок мембранного аппарата щелочным раствором. Эффективность проведения промывки контролируется по значениям цветности (рис.4,а) и по значениям ХПК (рис.4,б).

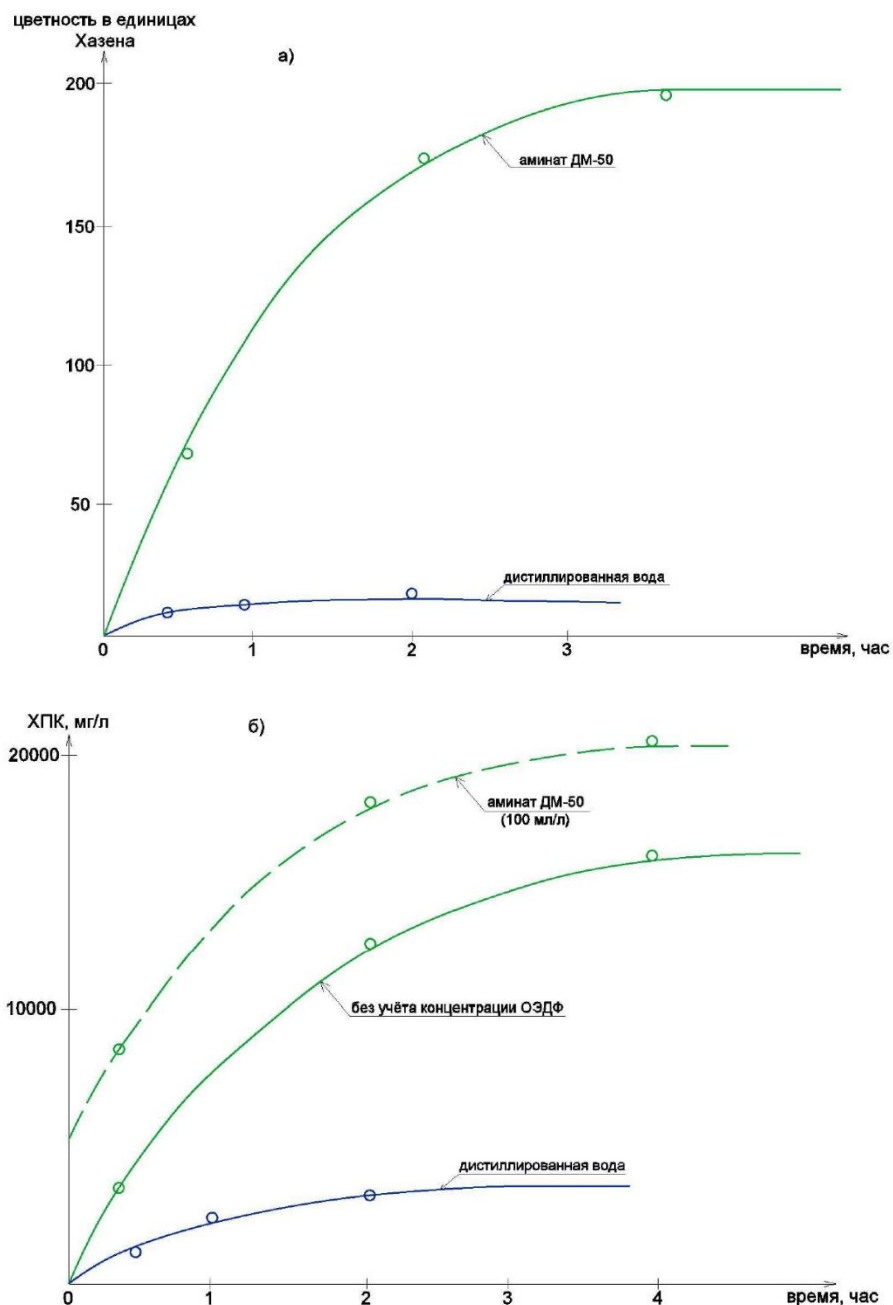


Рис.4. Определение эффективности удаления осадка органических веществ при химической промывке: а) зависимость цветности промывной раствора от времени; б) зависимость ХПК промывного раствора от времени

Fig. 4. Determination of the efficiency of removing organic matter sediment during chemical washing: a) the dependence of the color of the washing solution on time; b) time dependence of the COD of the washing solution..

Для определения требуемого количества мембранных элементов для обработки концентрата

и доведения его расхода до величины, не превышающей 1% от поступающей на очистку

воды, были проанализированы полученные экспериментально зависимости производительности мембран от кратности снижения объёма исходной воды, значения величины общего солесодержания и значения ХПК исходной сточной воды, полученные при давлении 6 Бар при обработке воды на экспериментальной установке (рис.1,б).

Как видно из рис.2 (б), производительность мембран при увеличении К сильно уменьшается. Для определения требуемой для достижения заданной величины выхода площади мембран были определены значения удельной производительности мембран, соответствующие различным диапазонам изменения значения К (рис.5). На рис.5 показаны зависимости снижения удельной производительности мембран от значений К (рис.5,а) и значений объема полученного в процессе эксперимента фильтрата (рис.5,б). Для определения требуемой для концентрирование фильтрата ТБО

площади мембран объём полученного фильтрата разбивается на участки: объём фильтрата, полученный в диапазоне изменения К от 1 до 3; при изменении К от 3 до 4; при изменении К от 4 до 7. Для каждого диапазона определены объёмы полученного фильтрата, представленные на рис.6 в процентах от общего объёма полученного фильтрата.

На рис.6 (а,в) представлены зависимости средней величины удельной производительности мембран на первой ступени от К при очистке фильтрата ТБО после реагентной обработки. Средняя величина удельной производительности для каждого диапазона изменения К получена, как частное от деления объёма фильтрата, полученного в этом диапазоне, на время, требуемое для накопления этого объёма. Требуемое значение площади мембран для получения объёма фильтрата в каждом диапазоне изменения К определялось, как частное от деления объёма фильтрата на среднее значение величины удельной производительности мембран в этом диапазоне (рис.6,б,г).

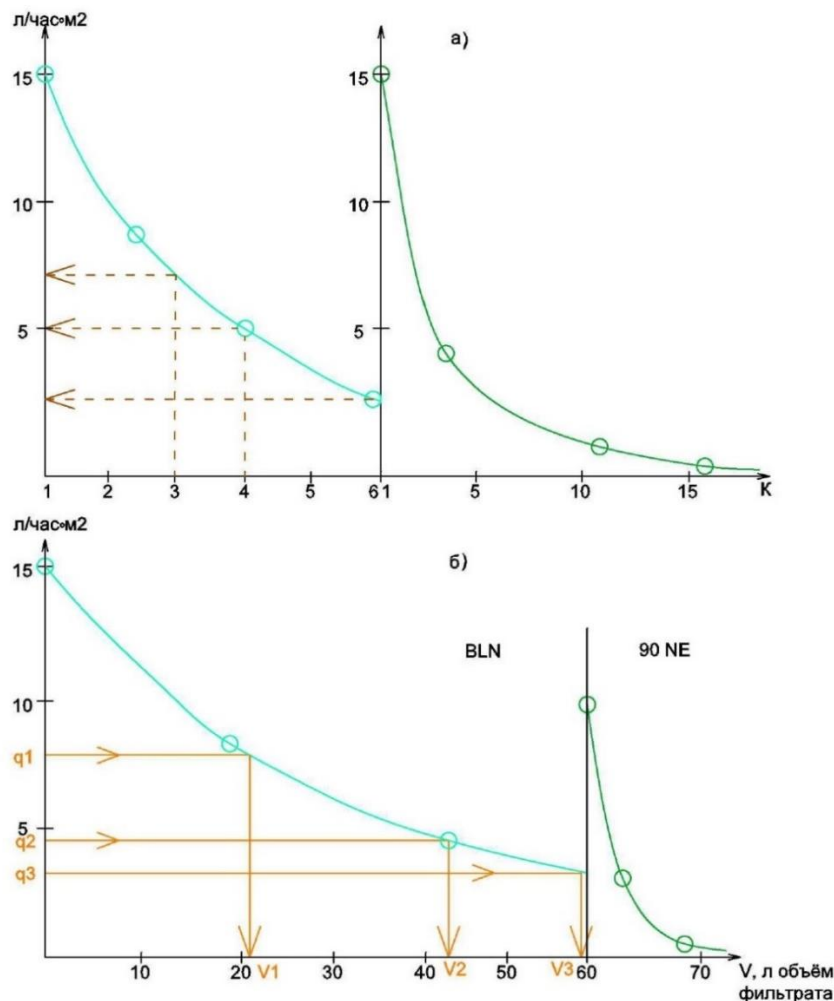


Рис.5. Определение расходов и объемов полученного фильтрата в различных диапазонах изменения К при обработке фильтрата ТБО после реагентной обработки; а) – зависимость удельной производительности мембраны от К; б) – зависимость удельной производительности мембраны от полученного объема фильтрата.

Fig. 5. Determination of flow rates and volumes of the obtained filtrate in various ranges of K variation when processing the MSW filtrate after reagent treatment; а) – the dependence of the specific performance of the membrane on K; б) – the dependence of the specific performance of the membrane on the obtained volume of the filtrate.

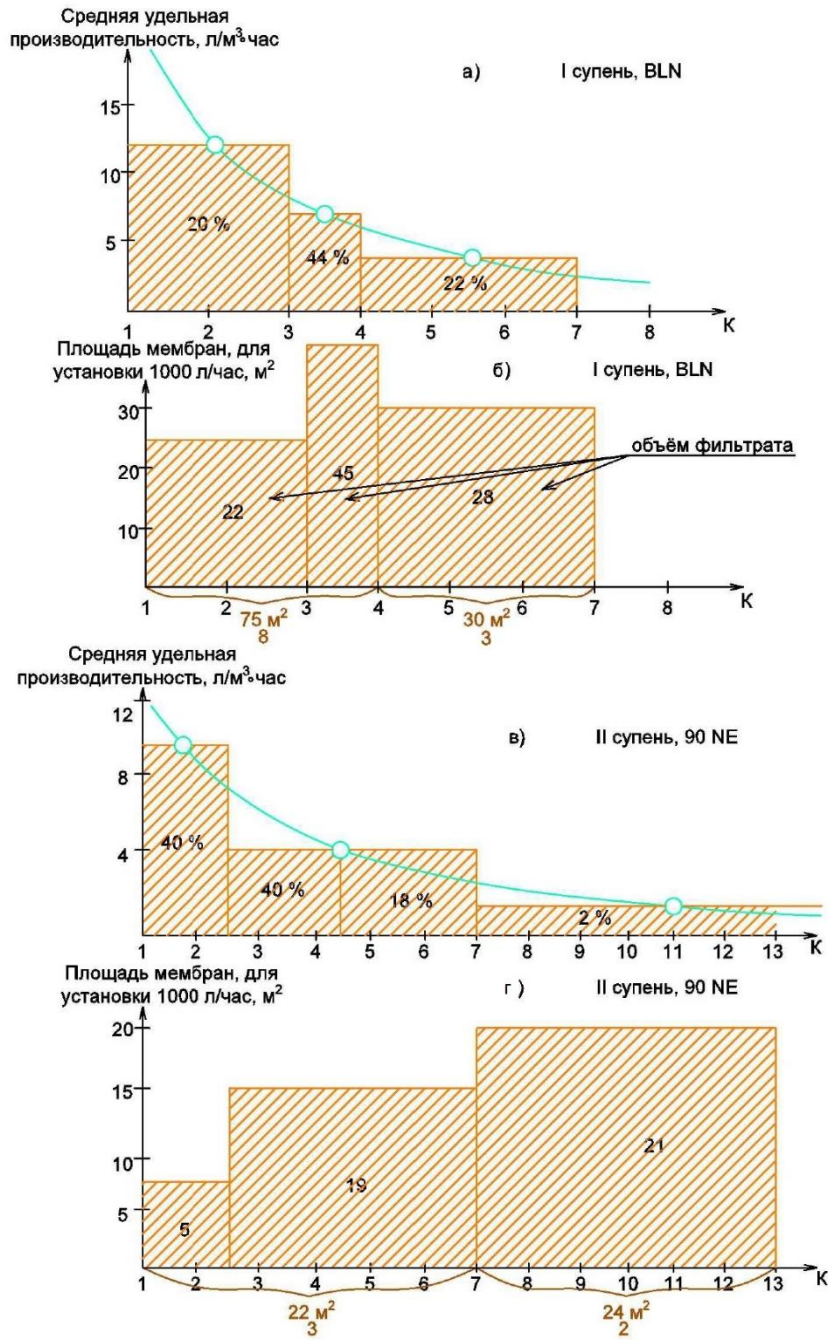


Рис.6. Определение площади мембран для установки обработки фильтрата ТБО производительностью 1000 литров в час: а, б – на первой ступени обработки; в, г – на второй ступени обработки.

Fig. 6. Determination of the area of membranes for a solid waste filtrate processing unit with a capacity of 1000 liters per hour: a, b – at the first stage of treatment; c, d – at the second stage of processing.

Результаты определения количеств мембранных аппаратов типа 4040 при очистке фильтрата ТБО "напрямую" безреагентной обработки показаны на рис.7. На рис.8 показаны результаты определения требуемой площади поверхности мембран для достижения заданной величины К в виде зависимости площади мембран от К. Требуемое количество мембранных элементов определяется, исходя из того, что площадь мембран в рулонном серийном элементе "стандарта" 4040 (длина 100 мм и диаметр 100мм) составляет 10 квадратных метров.

Таким образом, чтобы произвести в час 1000 литров очищенной воды и при этом снизить расход сбрасываемого концентрата до величины, составляющую 1/7 от расхода поступающей на очистку воды, требуется 12 мембранных элементов "стандарта" 4040 (рис. 9). Мембранные элементы подключаются "ступенчато", расположение аппаратов выглядит следующим образом: 5 параллельно работающих элементов, затем 4 и далее – 3.

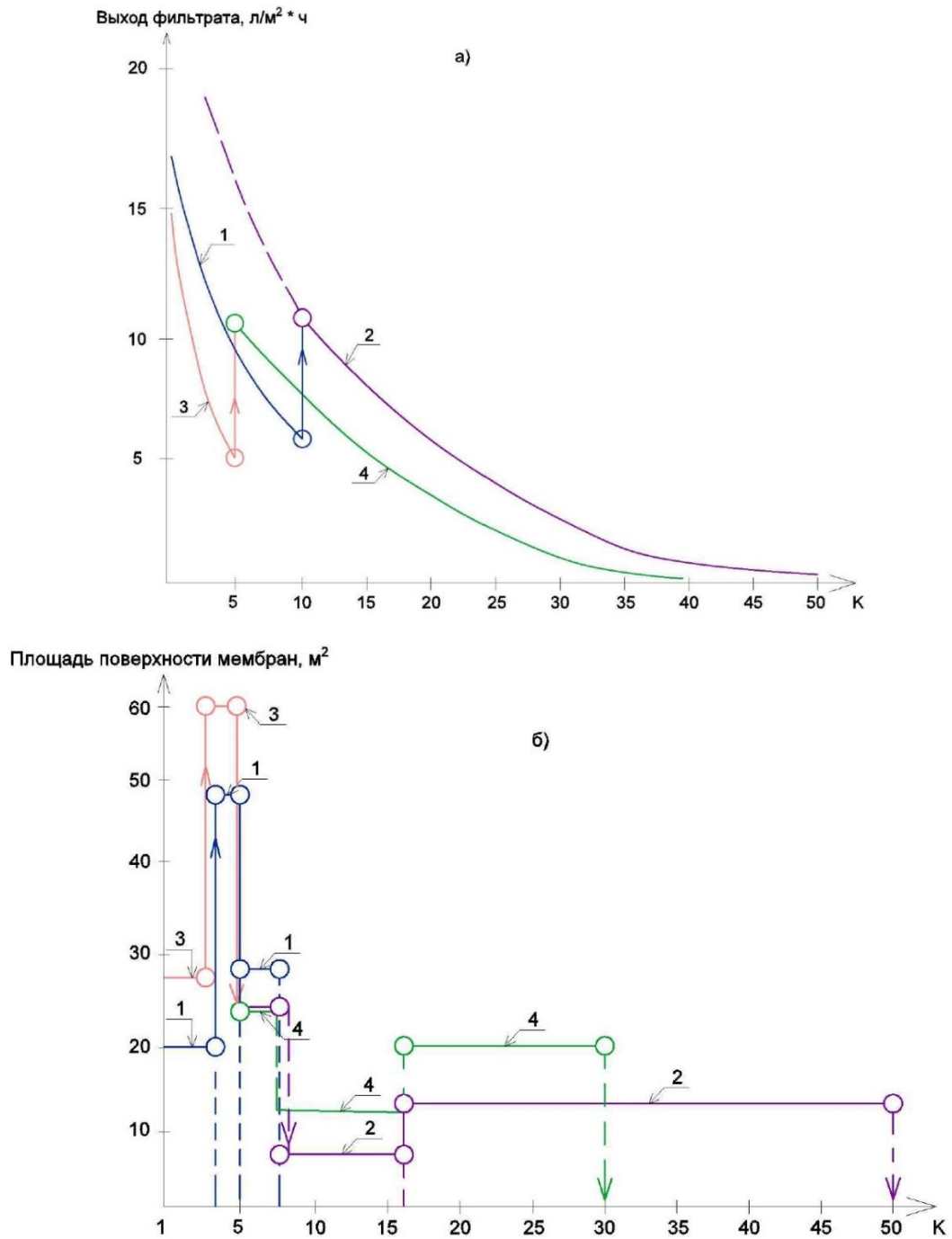


Рис. 7. Определение требуемой площади поверхности мембран для достижения заданной величины выхода фильтрата: а) – зависимость величины удельной производительности мембран от К; б) – значения площади поверхности мембран в различных диапазонах изменения К:

- 1 – мембраны BLN, после реагентной обработки фильтрата ТБО
- 2 – мембраны 90 NE после реагентной обработки фильтрата ТБО
- 3 – мембраны BLN, очистка фильтрата ТБО без предварительной реагентной обработки
- 4 – мембраны 90 NE, очистка фильтрата ТБО без предварительной реагентной обработки

Fig. 7. Determination of the required membrane surface area to achieve a given filtrate yield value: а) – the dependence of the specific membrane performance on K; б) – the values of the membrane surface area in different ranges of K:

- 1 – BLN membranes, after reagent treatment of solid waste filtrate
- 2 – membranes 90 NE after reagent treatment of solid waste filtrate
- 3 – BLN membranes, MSW filtrate purification without preliminary reagent treatment
- 4 – membranes 90 NE, MSW filtrate purification without preliminary reagent treatment

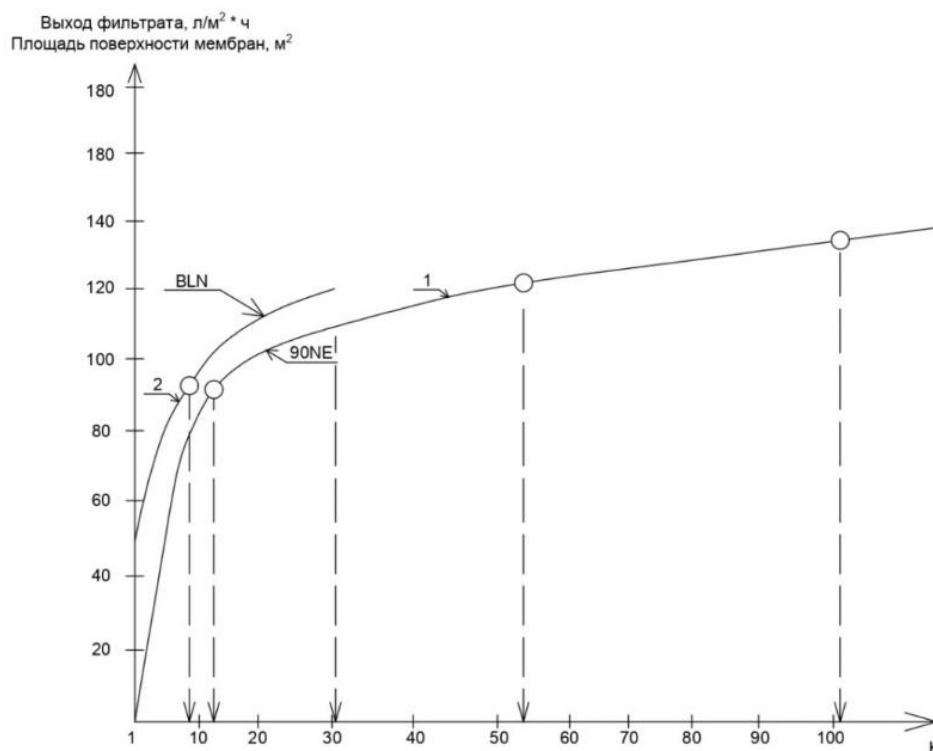


Рис .8. Зависимость требуемой площади поверхности мембран от выбранной величины К при обработке фильтрата полигона ТБО: 1 – фильтрат ТБО после реагентной обработки; 2 – фильтрат ТБО без реагентной обработки

Fig. 8. Dependence of the required membrane surface area on the selected K value when processing the filtrate of the solid waste landfill: 1 – solid waste filtrate after reagent treatment; 2 – MSW filtrate without reagent treatment

На рис.9 показаны результаты определения количества мембранных элементов и даны схемы их подключения для двух вариантов: с предварительной реагентной обработкой фильтрата полигона ТБО и без предварительной реагентной обработки. Для случая, когда предварительная реагентная обработка не производится и фильтрат ТБО, имеющий значение ХПК 1800 мг/л, очищается на мембранах обратного осмоса "напрямую", максимальная величина выхода фильтрата не превышает 90% вследствие быстрой потери мембранами производительности (рис.7,а).

На рис.10 показана технологическая схема очистки воды и вариант подключения мембранных элементов на первой, второй и третьей ступенях мембранной очистки. Расчет площади мембран и количества аппаратов выполнен для величины рабочего давления 6 Бар. Технологическая схема включает сооружения для удаления взвешенных веществ: обработку коагулянтами и флокулянтами, отстаивание и фильтрование. При этом величина ХПК исходной воды практически не снижается. Для того, чтобы снизить значение ХПК, требуется реагентная обработка с использованием стехиометрических расходов реагентов (хлорного

железа и др.) с большими дозами. Кроме того, реагентная обработка и осаждение органических веществ (гуматов) требует времени, поэтому размещение оборудования для отстаивания требует дополнительного места. После проведения реагентного осаждения в баке 3 (рис.10) органических загрязнений, фильтрат полигона ТБО проходит обработку на установке первой ступени обратного осмоса (рис. 9 и 10), значение величины выхода фильтрата на которой составляет 85-90%.

Для последующего увеличения величины выхода фильтрата используется установка третьей ступени с применением нанофильтрационных мембран. Для этого концентрат установки первой ступени собирается в промежуточном баке концентрата 11 (рис. 10), в котором осуществляется дополнительное реагентное осаждение сконцентрированных высокомолекулярных органических веществ (значение ХПК в концентрате первой ступени доходит до 1200-1500 мг/л). Дальнейшее снижение расхода концентрата осуществляется на третьей ступени с применением аппаратов с нанофильтрационными мембранами типа 90NE, в которых расход концентрата снижается еще в 15-20 раз (рис.7).

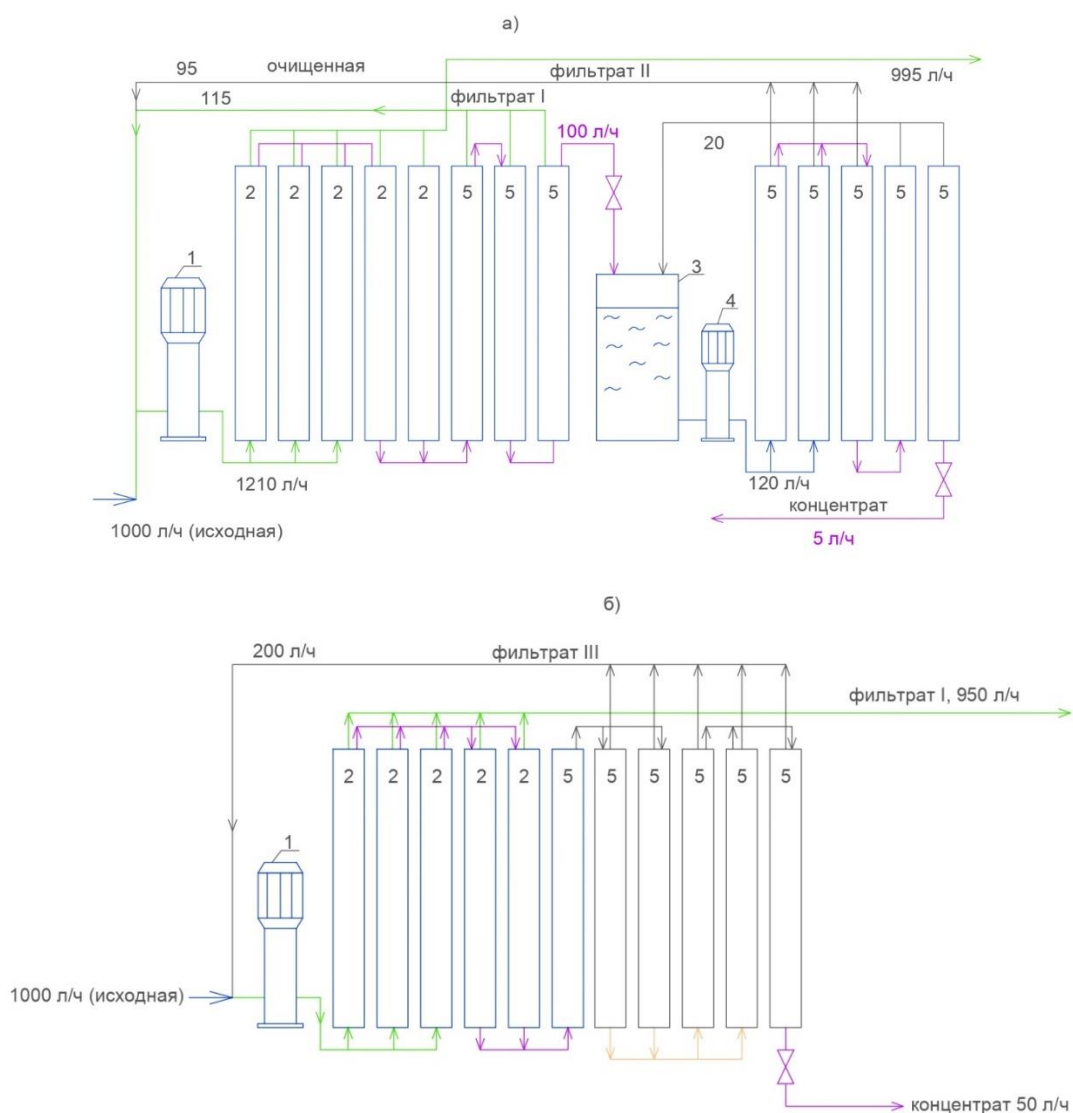


Рис. 9. Результаты определения площади мембран на I и II ступенях очистки и схема подключения аппаратов:

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 – насос I ступени | 4 – насос II ступени |
| 2 – мембранный аппарат BLN 4040 | 5 – мембранные аппараты 70NE 4040 |
| 3 – бак сбора концентрата I ступени | |

Fig. 9. Results of determining the area of membranes at I and II stages of purification and connection diagram of the devices:

- | | |
|---|--------------------------------|
| 1 – stage I pump | 4 – stage II pump |
| 2 – membrane apparatus BLN 4040 | 5 – membrane devices 70NE 4040 |
| 3 – 1st stage concentrate collection tank | |

Осадок из первичных отстойников 3 и из промежуточного бака-отстойника 11 (рис.10) поступает в уплотнитель осадка 15, а затем направляется на блок обезвоживания 18. Фильтрат после установки обезвоживания осадка направляется в промежуточный бак 11 установки второй ступени. Исходя из общего количества осадка можно определить требуемое количество концентрата (воды, составляющей влажность обезвоженного осадка при 80

процентной влажности) и при ХПК исходной воды 1800 мг/л, а также при ХПК воды после реагентной обработки на входе в аппараты первой ступени 240 мг/л, При расходе фильтрата полигона ТБО 24 куб. м в сутки (1000 литров в час) общее количество осадка (твердых веществ), выводимое с установки, составляет 60 кг/сутки. Расход обезвоженного осадка (при влажности 80 %) составит 360 литров в сутки.

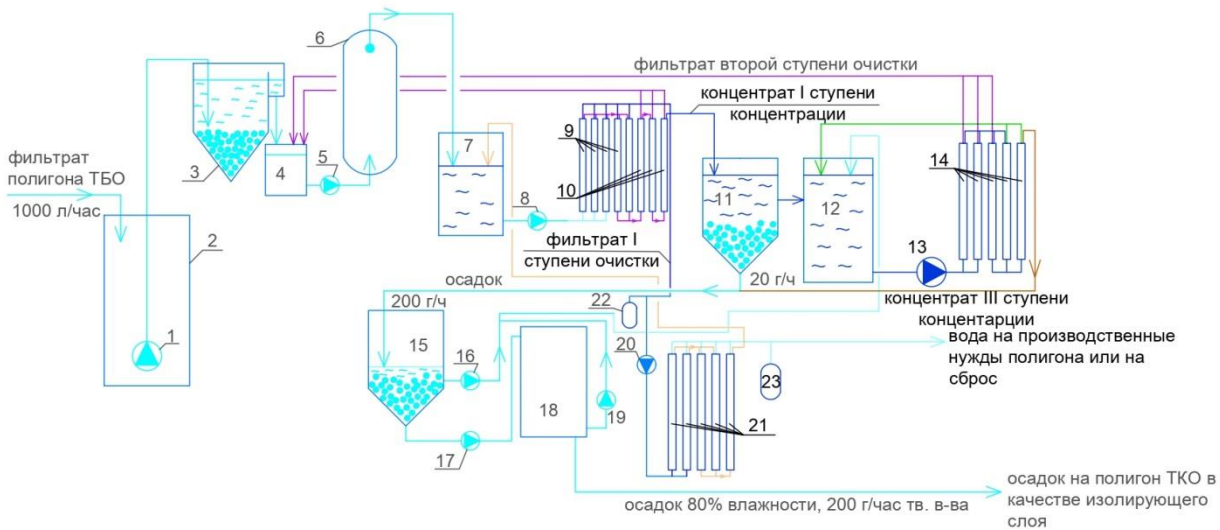


Рис. 10. Технологическая схема очистки фильтрата ТБО с указанием всех видов оборудования:

- | | | |
|--|---|---|
| 1 – насосное перекачивание
фильтрата | 9 – мембраны обратного осмоса | 16 – насос для рециркуляции
очищенной воды |
| 2 – резервуар для сбора фильтрата | 10 – наночисточная мембрана для
восстановления | 17 – иловый насос для
обезвоживания |
| 3 – отстойник | 11 – резервуар для сбора
концентрата для осаждения
органических веществ | 18 – «мешок»
обезвоживающий блок |
| 4 – бак для осветлённой
воды | 12 – резервуар осветлённого
концентрата | 19 – насос для удаления
воды |
| 5 – насос подачи воды на
фильтры | 13 – насос третьей ступени | 20 – насос обратного
осмоса второй ступени |
| 6 – фильтры | 14 – мембраны третьей
ступени | 21 – вторая ступень
мембран |
| 7 – насосы для фильтрации
воды | 15 – резервуар для
«сгущения» ила | 22 – бак давления
продукта первой ступени |
| 8 – насос подачи воды на систему
обратного осмоса | | 23 – бак давления продукта
второй ступени |

Fig. 10. Technological scheme for cleaning the MSW filtrate with an indication of all types of equipment:

- | | | |
|---------------------------------------|--|---|
| 1 – pumping pumping of filtrate | 9 – reverse osmosis membranes | 16 – pump for recirculation
purified water |
| 2 – reservoir for collecting filtrate | 10 – nanofiltration membrane to increase
recovery | 17 – sludge pump for
dehydration |
| 3 – sump | 11 – collection tank
concentrate for precipitation of organic
matter | 18 – "bag"
dewatering unit |
| 4 – tank for clarified
water | 12 – clarified concentrate tank | 19 – pump for removal
water |
| 5 – water supply pump for
filters | 13 – pump of the third stage | |
| | 14 – membrane of the third
stage | |

Для случая, когда фильтрат полигона ТБО очищается "напрямую" на мембранной установке без реагентной обработки, промежуточного бака 11 и бака осветленной воды 12 (рис. 10), а также рабочего насоса третьей ступени 13 (рис.10) не требуется: наночисточные мембраны входят в состав установки третьей ступени (рис. 9,б). С увеличением рабочего давления растёт удельная производительность мембран (уменьшается

требуемая площадь мембран) и растёт расход электроэнергии. С уменьшением количества мембранных аппаратов падает и расход моющих реагентов на промывку мембран и растворение органических отложений. На рис.11 показаны результаты определения оптимального значения величины рабочего давления, соответствующего минимальному значению эксплуатационных затрат.

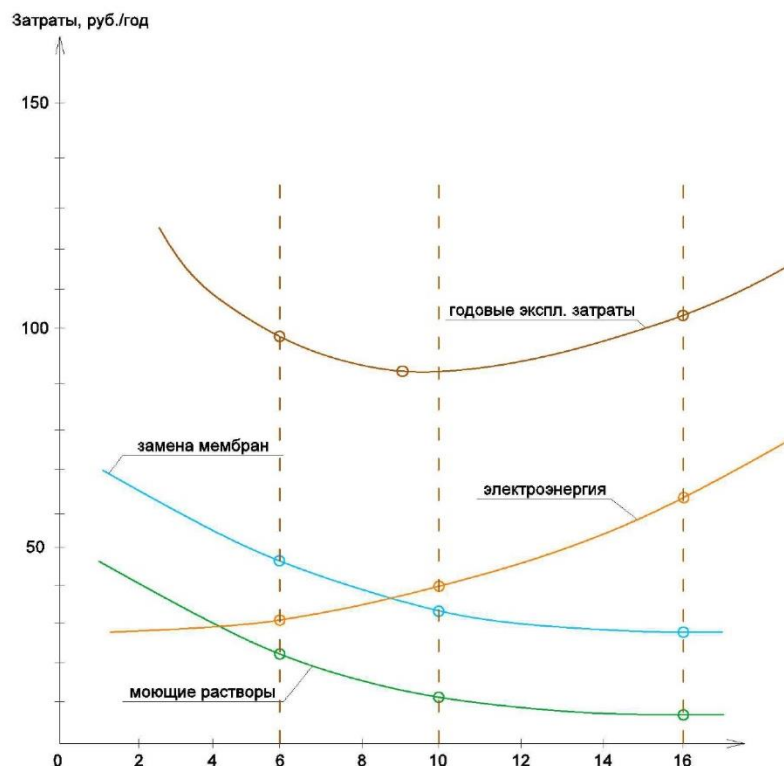


Рис. 11. Результаты определения величины эксплуатационных затрат для установки обработки фильтрата полигона ТБО производительностью 1000 литров в час.

Fig. 11. The results of determining the value of operating costs for the treatment plant for the landfill leachate with a capacity of 1000 liters per hour

ВЫВОДЫ

На эффективность работы мембран при разделении фильтратов полигонов хранения ТБО методом обратного осмоса большое влияние оказывает содержание в нем высокомолекулярных органических веществ. Целесообразно производить реагентное осаждение органических веществ с применением реагентов перед последующей обработкой сточной воды методом обратного осмоса.

После обезвоживания осадка, состоящего из взвешенных веществ и осажденных реагентным способом органических соединений влажность его составляет 78-80%. Концентрат установки обратного осмоса, составляющий 0,6-0,8% от объема исходного поступающего на обработку фильтрата полигона ТБО выводится вместе в обезвоженным осадком.

При обработке фильтрата полигона ТБО "напрямую" методом обратного осмоса без предварительной реагентной обработки максимальная величина выхода фильтрата, которую можно достичь при обработке, составляет не более 90-92%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hussein L., Abdel-Shafy, Mona S., Mansour M. Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling and valorization. *Egyptian Journal of Petroleum*. Volume 27, Issue 4, December 2018, pages 1275 - 1290.
2. J. Wiszniowski, D. Robert, J. Summer-Gorska, K. Miksh, J.V. Weber. Landfill leachate treatment methods: a review. *Environ. Chem. Lett.*, 4 (2006), 51-61. DOI: 10.1007/s10311-005-0016-z.
3. Sun W.Y., Kang M.S., Yim S.K., Choi K.H. Advances Landfill Leachate Treatment Using an integrated membrane processes. *Desalination*, v. 149, (2002), p. 109-114.
4. B. Weber and F. Holz. *Landfill Leachate Treatment by Reverse Osmosis*. 1991. Elsevier Science Publishers Ltd, England. *Effective Industrial Membrane Processes - Benefits and opportunities*, pp.143-154.
5. Angelo Chianese, Ronaldo Ranauro, Nicola Verdone. Treatment of landfill leachate by reverse osmosis. *Water Research*, Volume 33, Issue 3, February 1999, pages 64-652.
6. Kenichi Ushikovski, Tetsuo Kobayashi, Kazuya Uematsu, Akihiro Toji, Dai Kojima, Kanji Matsumoto. Leachate treatment by the reverse osmosis system. *Desalination*, Volume 150, Issue 2, November 2002, Pages 121-129.

7. Amokrane A., Comel C., Veron J. Landfill leachate pretreatment by coagulation-flocculation. *Water Resources*. (1997), 31, 2775-2782.

8. Mark Wilf. The guidebook to membrane for wastewater reclamation. Balaban Desalination Publishing, 2010. V.788.

9. A. Perez-Gonzales, A.M. Urriaga, R. Ibanez, I. Ortoz. State of the art and review of the treatment technologies of water reverse osmosis concentrates. *Water Research*, 46 (2012) 267 - 283.

10. Wojciech Dabrowski, Alexei Pervov, Konstantin Tikhonov. Use of reverse osmosis to modify biological wastewater treatment. *Vestnik MGSU. Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*, vol.13 issue 10, 2018. ISSN 1997-0935. DOI: 10.22227/1997-0935, 2018.10.1222-1235.

11. Pervov A.G., Andrianov A.P. Application of membranes to treat wastewater for it's recycling and reuse: new considerations to reduce fouling and recovery up to 99 per cent. *Desalination and water treatment*. 2011. Vol.35.(1-3). Pp.2-9. DOI: 10.5004/DWT.2011.3133.

12. A.G. Pervov, Xuan Quyet Nguen and E.B. Yurchevski. Investigation of the influence of organics contained in natural water on the performance of reverse osmosis membranes. *ISSN 2517-7516, Membranes and membrane technologies*, 2019, vol.1, No 5, pp.286-297. Pleiades Publishing, Ltd.2019.

DETERMINATION OF THE MAIN PARAMETERS OF OPERATION OF REVERSE OSMOSIS IN THE PURIFICATION OF EFFLUENTS OF LANDFILLS

Pervov A.G., Shirkova T.N.

Summary. Results of investigations are presented that were aimed at production of quality water that meets regulations for surface water sources discharge. All impurities rejected by reverse osmosis membranes that are contained in concentrate stream can be withdrawn together with the dewatered sludge. Experimental research is conducted to develop membrane operational modes during leachate treatment. Experimental procedure is described to evaluate reduction of membrane flux and rejection during leachate treatment and recovery increase. Results of investigations are presented that enable us to determine main characteristics of membrane process such as: membrane flux, ammonia rejection, membrane types required, number of stages, recovery values. Experimental relationships are developed to determine the required membrane recovery values that correspond to ammonia concentration in the feed water to meet required regulation values in the product water. Tools to evaluate the required membrane area and required amount of membrane modules are developed and described. Influence of organics defined as COD (chemical oxygen demand) on membrane performance is investigated. Optimum values of working pressure are evaluated as well as economical parameters of membrane process are determined. Main tools to handle concentrate streams of membrane facilities and to withdraw it with dewatered sludge as well as methods to utilize sludge and concentrate are discussed.

Subject of research: filtrates of solid waste landfills with different composition determined by COD indicators (chemical oxygen consumption), concentrations of ammonium ions, nitrate ions, phosphate ions, as well as hardness and alkalinity; determining the costs of the discharged concentrate and studying the possibilities of reducing them; determining the cost of reagents and electricity.

Materials methods: the schemes of cleaning processes have been studied. Chemical equations of processes occurring in structures are presented and considered, and stoichiometric concentrations of the reagents used are determined. Balance charts have been drawn up to determine the costs of solid waste filtrate, treated water, sediment and concentrates of reverse osmosis plants, as well as the concentrations of various contaminants in them at each stage of treatment at the entrance and exit of structures.

Key words: landfill leachate; reverse osmosis; nanofiltration; membrane fouling; recovery; concentrate handling.

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕМБРАННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПРЯМОУГОЛЬНОМ ПЛАНЕ

Крысько А.А.

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 286123, Донецкая Народная Республика, г. Макеевка, ул. Державина, 2, a.a.krysko@donnasa.ru

Аннотация. В статье предлагается аналитическое описание и компьютерные модели трёх криволинейных поверхностей мембранного покрытия на прямоугольном плане, которые включают модель поверхности, вогнутую в одном направлении, в двух направлениях и выпукло-вогнутую. Все модели получены на основе следующей концептуальной последовательности действий: геометрическая схема модели – аналитическое описание в БН-исчислении – компьютерная модель искомой поверхности. Такой подход позволяет не только получить компьютерную модель искомого геометрического объекта в нужной параметризации, но и внести необходимые корректировки на каждом этапе моделирования. Геометрически все направляющие и образующие линии моделируемых поверхностей состоят из таких простейших геометрических объектов, как прямые и окружности. Вместе с тем они были определены не только в нужной параметризации таким образом, но и с учётом их взаимного положения, определяющего исходные опорные линии и заданную величину максимального прогиба балки и мембранных оболочек. Полученные аналитические описания геометрических объектов объединены в вычислительный алгоритм, реализованный в программном пакете Maple. В результате чего визуализированные компьютерные модели полученных поверхностей были экспортированы в формат dxf с учётом необходимой плотности конечных элементов прямоугольной формы для непосредственного импорта в систему конечно-элементного анализа напряжённо-деформированного состояния конструкций SCAD Office с последующим проведением вычислительного эксперимента. Таким образом, вся геометрическая информация с учётом выбора плотности конечно-элементной сети обеспечивается предложенным подходом к моделированию оболочек мембранных покрытий по наперёд заданным условиям, а физико-механические свойства материала необходимые для расчёта напряжённо-деформированного состояния конструкций, задаются непосредственно в вычислительной системе конечно-элементного анализа в процессе моделирования.

Ключевые слова: геометрическое моделирование, криволинейная поверхность, линейчатая поверхность, мембранное покрытие, прямоугольный план, дуга окружности.

ВВЕДЕНИЕ

При проведении вычислительного эксперимента по компьютерному исследованию напряжённо-деформированного состояния поверхности мембранного покрытия на прямоугольном плане, выполненного из тонколистовой стали и опирающегося на сварные двутавровые балки, возникла необходимость получить аналитическое описание геометрической модели этой поверхности в необходимой параметризации. В результате была поставлена следующая задача, состоящая из трёх частей:

Получить аналитическое описание и компьютерную модель поверхности мембранного покрытия на прямоугольном плане и опорной двутавровой балки вогнутых в одном направлении;

Получить аналитическое описание и компьютерную модель поверхности мембранного покрытия на прямоугольном плане и опорной двутавровой балки вогнутых в двух направлениях;

Получить аналитическое описание и компьютерную модель выпукло-вогнутых поверхностей мембранного покрытия на прямоугольном плане и опорной двутавровой балки.

Конструктивно все направляющие и образующие искомого отсеков поверхностей состоят из простейших геометрических объектов: прямых и окружностей. Вместе с тем их нужно определить в нужной параметризации таким образом, чтобы отсеки поверхностей проходили через наперёд заданные опорные прямые и при этом определялись наперёд заданной величиной максимального прогиба. Подобные поверхности технических форм удобно параметризовать путём проведения их через наперёд заданные точки [1-2] методом подвижного симплекса [3-4].

Для аналитического описания искомого поверхностей в виде точечных уравнений и вычислительных алгоритмов их формирования используется математический аппарат БН-исчисления [5-7].

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ
МЕМБРАННОГО ПОКРЫТИЯ НА
ПРЯМОУГОЛЬНОМ ПЛАНЕ И
ОПОРНОЙ ДВУТАВРОВОЙ БАЛКИ
ВОГНУТЫХ В ОДНОМ НАПРАВЛЕНИИ**

На рисунке 1 представлена общая геометрическая схема мембранного покрытия на прямоугольном плане и опорной двутавровой балки вогнутых в одном направлении.

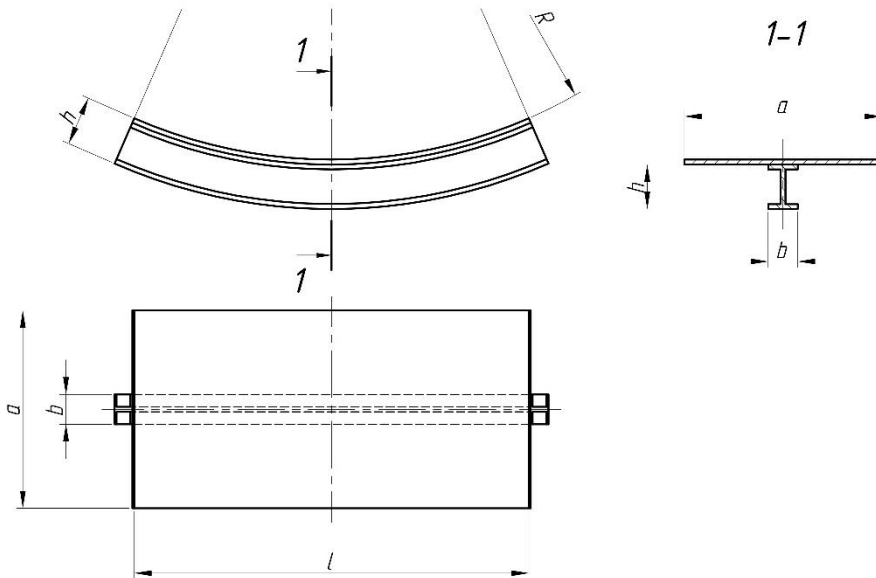


Рис. 1. Общая геометрическая схема мембранного покрытия с опорной балкой, вогнутые в одном направлении
Fig. 1. General geometric scheme of a membrane covering with a support beam, concave in one direction

**Моделирование поверхности мембранного
покрытия, вогнутого в одном направлении**

Поверхность мембранного покрытия представляет собой оболочку, построенную по следующей геометрической схеме: три отрезка

прямых A_1A_2 , B_1B_2 , C_1C_2 являются направляющими для построения поверхности, а дуга окружности $N_A N_B N_C$ – образующей (рис. 2).

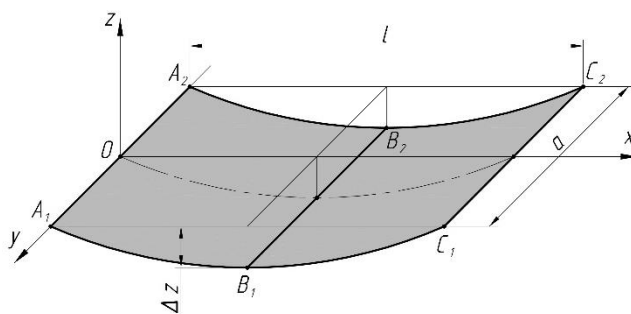


Рис. 2. Геометрическая схема линейчатой поверхности мембранного покрытия
Fig. 2. Geometric scheme of the linear surface of the membrane covering

Точечные уравнения направляющих прямых линий имеют следующий вид:

$$N_A = A_1\bar{t} + A_2t, \quad N_B = B_1\bar{t} + B_2t, \quad N_C = C_1\bar{t} + C_2t,$$

где t – текущий линейный параметр, который принадлежит интервалу: $0 \leq t \leq 1$;

$\bar{t} = 1 - t$ – дополнение параметра t до 1.

Для определения образующей окружности используем точное уравнение окружности, проходящей через три точки [8]. Применительно к обозначениям точек, приведенным на геометрической схеме (рис. 1), получим:

$$M = (N_A - N_C) \frac{\sin(\beta + \varphi) \sin(\gamma - \varphi)}{\sin \beta \sin \gamma} + (N_B - N_C) \frac{2 \cos \gamma \sin(\beta + \varphi) \sin \varphi}{\sin \beta \sin \gamma} + N_C,$$

где $\beta = \angle N_A N_B N_C$ – угол при вершине N_B треугольника $N_A N_B N_C$;

$\gamma = \angle N_B N_C N_A$ – угол при вершине N_C треугольника $N_A N_B N_C$;

φ – текущий угловой параметр, который принадлежит интервалу: $0 \leq \varphi \leq (\pi - \beta)$.

Подставив в точечное уравнение окружности уравнения прямых получим точечное уравнение линейчатой поверхности:

$$M = (A_1 \bar{t} + A_2 t - C_1 \bar{t} - C_2 t) \lambda + (B_1 \bar{t} + B_2 t - C_1 \bar{t} - C_2 t) \psi + C_1 \bar{t} + C_2 t,$$

где $\lambda = \frac{\sin(\beta + \varphi) \sin(\gamma - \varphi)}{\sin \beta \sin \gamma}$, $\psi = \frac{2 \cos \gamma \sin(\beta + \varphi) \sin \varphi}{\sin \beta \sin \gamma}$.

Полученное уравнение линейчатой поверхности представлено в символьной точечной форме, которую сводим к параметрической посредством покоординатного расчёта. В результате получим базовую систему параметрических уравнений:

$$\begin{cases} x = (x_{A_1} \bar{t} + x_{A_2} t - x_{C_1} \bar{t} - x_{C_2} t) \lambda + (x_{B_1} \bar{t} + x_{B_2} t - x_{C_1} \bar{t} - x_{C_2} t) \psi + x_{C_1} \bar{t} + x_{C_2} t; \\ y = (y_{A_1} \bar{t} + y_{A_2} t - y_{C_1} \bar{t} - y_{C_2} t) \lambda + (y_{B_1} \bar{t} + y_{B_2} t - y_{C_1} \bar{t} - y_{C_2} t) \psi + y_{C_1} \bar{t} + y_{C_2} t; \\ z = (z_{A_1} \bar{t} + z_{A_2} t - z_{C_1} \bar{t} - z_{C_2} t) \lambda + (z_{B_1} \bar{t} + z_{B_2} t - z_{C_1} \bar{t} - z_{C_2} t) \psi + z_{C_1} \bar{t} + z_{C_2} t. \end{cases}$$

Координаты узловых точек, определяющих их взаимное положение, принимаем в соответствии с геометрической схемой (рис. 1):

$$x_{A_1} = 0; y_{A_1} = \frac{a}{2}; z_{A_1} = 0; \quad x_{A_2} = 0; y_{A_2} = -\frac{a}{2}; z_{A_2} = 0;$$

$$x_{B_1} = \frac{l}{2}; y_{B_1} = \frac{a}{2}; z_{B_1} = -\Delta z; \quad x_{B_2} = \frac{l}{2}; y_{B_2} = -\frac{a}{2}; z_{B_2} = -\Delta z;$$

$$x_{C_1} = l; y_{C_1} = \frac{a}{2}; z_{C_1} = 0; \quad x_{C_2} = l; y_{C_2} = -\frac{a}{2}; z_{C_2} = 0.$$

Подставив координаты узловых точек в базовую систему параметрических уравнений, получим параметрические уравнения поверхности мембранного покрытия, вогнутого в одном направлении:

$$\begin{cases} x = -l \frac{\sin(\beta + \varphi) \sin(\gamma - \varphi)}{\sin \beta \sin \gamma} - l \frac{\cos \gamma \sin(\beta + \varphi) \sin \varphi}{\sin \beta \sin \gamma} + l; \\ y = a \left(\frac{1}{2} - t \right); \\ z = -\Delta z \frac{2 \cos \gamma \sin(\beta + \varphi) \sin \varphi}{\sin \beta \sin \gamma}. \end{cases}$$

Воспользуемся программным пакетом Maple для визуализации поверхности мембранного покрытия, вогнутого в одном направлении (рис. 3). При этом следует задать необходимую плотность

прямоугольных элементов для экспорта в формат dxf с последующим импортом компьютерной модели поверхности мембранного покрытия в систему конечно-элементного анализа.

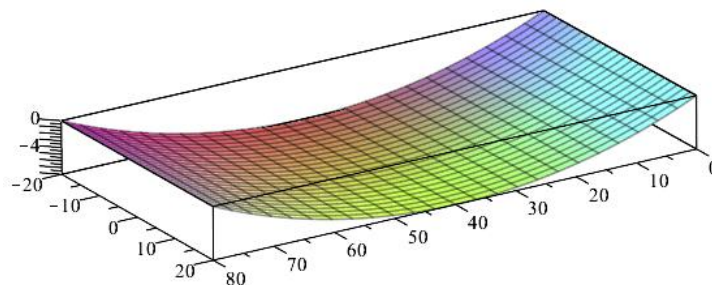


Рис. 3. Визуализация поверхности мембранного покрытия

Fig. 3. Visualization of the membrane covering surface

Моделирование линейчатой поверхности верхней полки двутавровой балки для мембранного покрытия вогнутого в одном направлении

Верхняя полка двутавра совпадает с поверхностью мембранного покрытия, только ограниченная более короткими отрезками A_1A_2 , B_1B_2 , C_1C_2 (рис. 4).

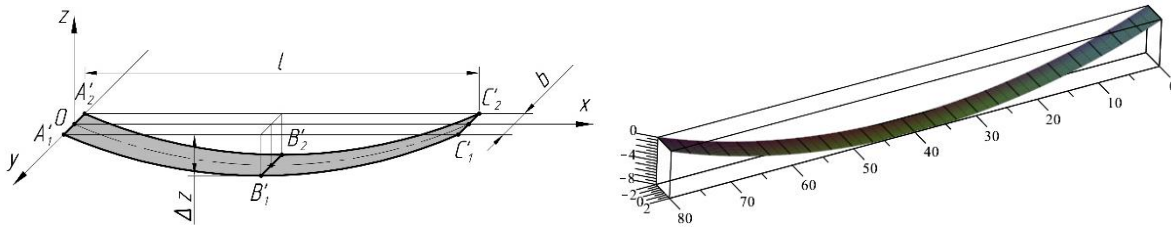


Рис. 4. Геометрическая схема линейчатой поверхности верхней полки двутавра и её визуализация
Fig. 4. Geometric scheme of the linear surface of the top shelf of the I-beam and its visualization

По аналогии с поверхностью оболочки мембранного покрытия, получим параметрические уравнения верхней полки:

$$\begin{cases} x = -l \left(\frac{\sin(\beta + \varphi) \sin(\gamma - \varphi)}{\sin \beta \sin \gamma} + \frac{\cos \gamma \sin(\beta + \varphi) \sin \varphi}{\sin \beta \sin \gamma} - 1 \right); \\ y = b \left(\frac{1}{2} - t \right); \\ z = -\Delta z \frac{2 \cos \gamma \sin(\beta + \varphi) \sin \varphi}{\sin \beta \sin \gamma}. \end{cases}$$

На рисунке 4 приведена визуализация поверхности верхней полки опорного двутавра, для покрытия вогнутого в одном направлении, выполненная с помощью программного пакета Maple.

Моделирование линейчатой поверхности стенки двутавровой балки для мембранного покрытия вогнутого в одном направлении

Стенка двутавра представляет собой оболочку, построенную методом подвижного симплекса, описанному выше. Направляющими являются отрезки D_1D_2 , E_1E_2 и F_1F_2 , а образующей – дуга окружности (рис.5).

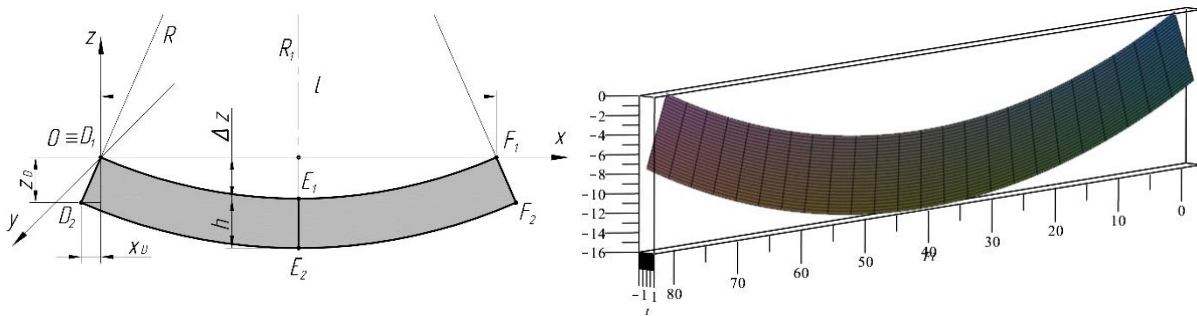


Рис. 5. Геометрическая схема линейчатой поверхности стенки двутавра и её визуализация
Fig. 5. Geometric scheme of the linear surface of the I-beam wall and its visualization

В этом случае точечное уравнение поверхности будет следующим:

$$M = (D_1\bar{t} + D_2t - F_1\bar{t} - F_2t) \frac{\sin(\beta + \varphi) \sin(\gamma - \varphi)}{\sin \beta \sin \gamma} + (E_1\bar{t} + E_2t - F_1\bar{t} - F_2t) \frac{2 \cos \gamma \sin(\beta + \varphi) \sin \varphi}{\sin \beta \sin \gamma} + C_1\bar{t} + C_2t.$$

Базовая система параметрических уравнений получается по аналогии с предыдущим случаем, однако в виду больших размеров здесь не приводится.

Координаты узловых точек:

$$\begin{aligned} x_{D_1} = 0; \quad y_{D_1} = 0; \quad z_{D_1} = 0; \quad x_{D_2} = -x_D; \quad y_{D_2} = 0; \quad z_{D_2} = -z_D; \\ x_{E_1} = \frac{l}{2}; \quad y_{E_1} = 0; \quad z_{E_1} = -\Delta z; \quad x_{E_2} = \frac{l}{2}; \quad y_{E_2} = 0; \quad z_{E_2} = -\Delta z - h; \\ x_{F_1} = l; \quad y_{F_1} = 0; \quad z_{F_1} = 0; \quad x_{F_2} = l + x_D; \quad y_{F_2} = 0; \quad z_{F_2} = -z_D. \end{aligned}$$

Подставив координаты узловых точек в базовую систему параметрических уравнений, получим параметрические уравнения поверхности стенки двутавра:

$$\begin{cases} x = -(2x_D t + l) \left(\frac{\sin(\beta + \varphi) \sin(\gamma - \varphi)}{\sin \beta \sin \gamma} - \frac{\cos \gamma \sin(\beta + \varphi) \sin \varphi}{\sin \beta \sin \gamma} - 1 \right) - x_D t; \\ y = 0; \\ z = (-\Delta z - ht + z_D t) \frac{2 \cos \gamma \sin(\beta + \varphi) \sin \varphi}{\sin \beta \sin \gamma} - z_D t. \end{cases}$$

Исходя из подобия треугольников (рис. 5) $\frac{h}{R} = \frac{z_D}{R_1} = \frac{x_D}{l/2}$. Отсюда находим x_D и z_D :

$$z_D = \frac{h(R - \Delta z)}{R}; \quad x_D = \frac{hl}{2R}.$$

Тогда итоговые параметрические уравнения поверхности будут иметь вид:

$$\begin{cases} x = -\left(2 \frac{hl}{2R} t + l\right) \left(\frac{\sin(\beta + \varphi) \sin(\gamma - \varphi)}{\sin \beta \sin \gamma} - \frac{\cos \gamma \sin(\beta + \varphi) \sin \varphi}{\sin \beta \sin \gamma} - 1 \right) - \frac{hl}{2R} t; \\ y = 0; \\ z = \left(-\Delta z - ht + \frac{h(R - \Delta z)}{R} t\right) \frac{2 \cos \gamma \sin(\beta + \varphi) \sin \varphi}{\sin \beta \sin \gamma} - \frac{h(R - \Delta z)}{R} t. \end{cases}$$

На рисунке 5 приведена визуализация поверхности стенки опорного двутавра, для покрытия, вогнутого в одном направлении, выполненная с помощью программного пакета Maple.

Моделирование линейчатой поверхности нижней полки двутавровой балки для мембранного покрытия вогнутого в одном направлении

Для моделирования нижней полки используем точечное уравнение линейчатой поверхности и базовую систему параметрических уравнений, полученную для мембранного покрытия. По аналогии с верхней полкой двутавра, направляющими будут отрезки $A_1''A_2''$, $B_1''B_2''$, $C_1''C_2''$, а образующей – дуга окружности (рис. 6).

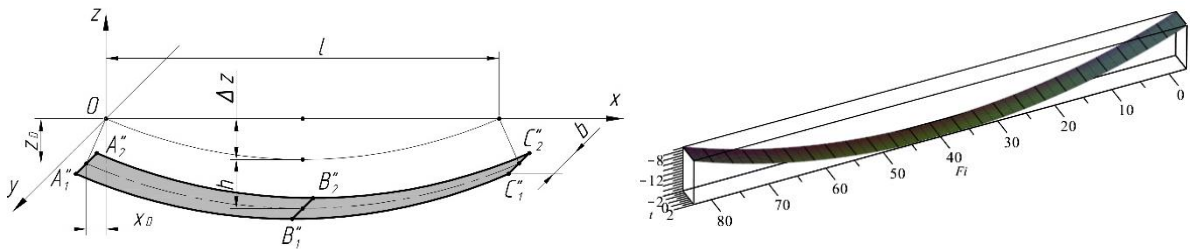


Рис. 6. Геометрическая схема линейчатой поверхности нижней полки двутавра и её визуализация
Fig. 6. Geometric scheme of the linear surface of the lower shelf of the I-beam and its visualization

С учётом координат исходных точек, получим следующие параметрические уравнения искомой линейчатой поверхности:

$$\begin{cases} x = -\left(2 \frac{hl}{2R} t + l\right) \left(\frac{\sin(\beta + \varphi) \sin(\gamma - \varphi)}{\sin \beta \sin \gamma} + \frac{\cos \gamma \sin(\beta + \varphi) \sin \varphi}{\sin \beta \sin \gamma} - 1 \right) - \frac{hl}{2R} t; \\ y = \frac{b}{2}; \\ z = -\Delta z \left(\frac{R + h}{R} \right) \frac{2 \cos \gamma \sin(\beta + \varphi) \sin \varphi}{\sin \beta \sin \gamma} - \frac{h(R - \Delta z)}{R} t. \end{cases}$$

На рисунке 6 приведена визуализация поверхности нижней полки опорного двутавра, для покрытия, вогнутого в одном направлении, выполненная с помощью программного пакета Maple.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ
МЕМБРАННОГО ПОКРЫТИЯ НА
ПРЯМОУГОЛЬНОМ ПЛАНЕ И
ОПОРНОЙ ДВУТАВРОВОЙ БАЛКИ
ВОГНУТЫХ В ДВУХ НАПРАВЛЕНИИ**

На рисунке 7 представлена общая геометрическая схема мембранного покрытия на прямоугольном плане и опорной двутавровой балки вогнутых в двух направлениях.

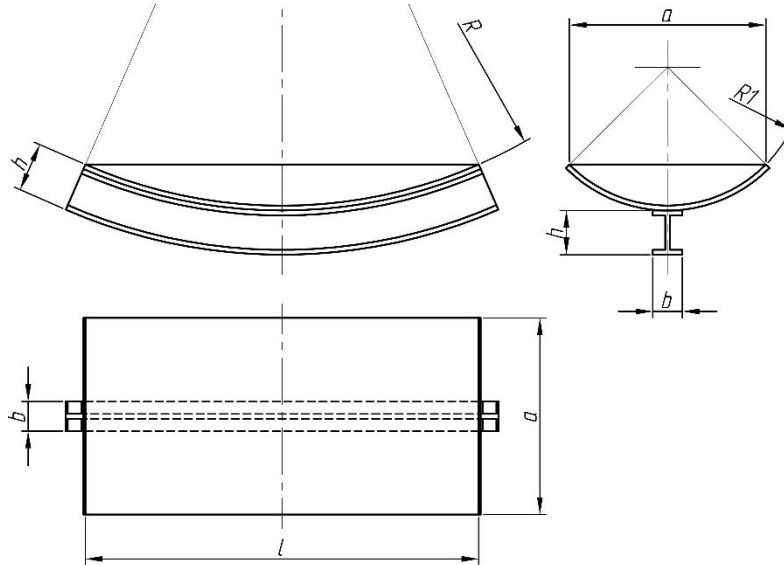


Рис. 7. Общая геометрическая схема мембранного покрытия с опорной балкой, вогнутого в двух направлениях
Fig. 7. General geometric scheme of a membrane covering with a support beam, concave in two directions

Моделирование поверхности мембранного покрытия, вогнутого в двух направлениях

Поверхность мембранного покрытия представляет собой оболочку, построенную по следующей схеме: два отрезка прямых A_1A_2 , C_1C_2 и

окружность $B_1B_2B_3$ являются направляющими линиями для построения поверхности. Образующая линия представляет собой дугу окружности, проходящую через 3 наперед заданные точки (рис. 8).

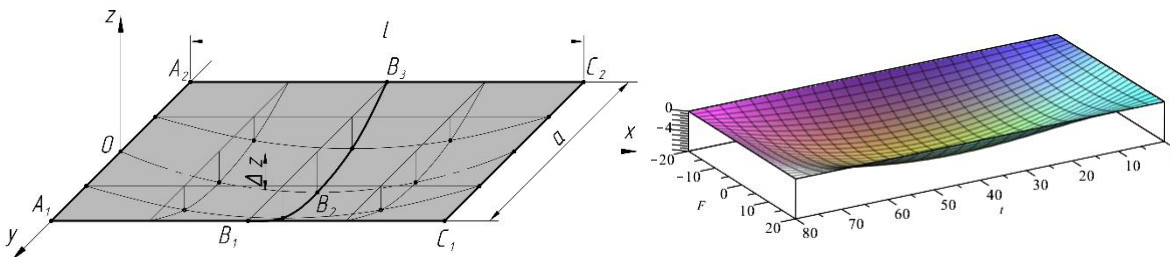


Рис. 8. Геометрическая схема линейчатой поверхности мембранного покрытия и её визуализация
Fig. 8. Geometric scheme of the linear surface of the membrane covering and its visualization

Точечное уравнение образующей дуги окружности, проходящей через три точки [8] в системе принятых обозначений (рис. 8), имеет следующий вид:

$$M = (N_A - N_C) \frac{\sin(\beta + \varphi) \sin(\gamma - \varphi)}{\sin \beta \sin \gamma} + (N_B - N_C) \frac{2 \cos \gamma \sin(\beta + \varphi) \sin \varphi}{\sin \beta \sin \gamma} + N_C, \text{ где } 0 \leq \varphi \leq (\pi - \beta).$$

Точечные уравнения направляющих линий:

$$N_A = A_1 \bar{t} + A_2 t, \quad N_B = (B_1 - B_3) \frac{\sin(\beta' + \varphi') \sin(\gamma' - \varphi')}{\sin \beta' \sin \gamma'} + (B_2 - B_3) \frac{2 \cos \gamma' \sin(\beta' + \varphi') \sin \varphi'}{\sin \beta' \sin \gamma'} + B_3, \quad N_C = C_1 \bar{t} + C_2 t,$$

где $0 \leq t \leq 1$; $\bar{t} = 1 - t$, $0 \leq \varphi' \leq (\pi - \beta')$.

Установим взаимосвязь между текущими параметрами направляющих линий отрезков прямой и дугой окружности: $\varphi' = t(\pi - \beta')$.

Тогда:

$$N_B = (B_1 - B_3)\sigma + (B_2 - B_3)\tau + B_3,$$

где $\sigma = \frac{\sin(\beta' + t(\pi - \beta'))\sin(\gamma' - t(\pi - \beta'))}{\sin \beta' \sin \gamma'}$, $\tau = \frac{2 \cos \gamma' \sin(\beta' + t(\pi - \beta'))\sin(t(\pi - \beta'))}{\sin \beta' \sin \gamma'}$.

Подставив в уравнение образующей окружности уравнения направляющих, получим точечное уравнение поверхности:

$$M = (A_1\bar{t} + A_2t - C_1\bar{t} - C_2t)\lambda + ((B_1 - B_3)\sigma + (B_2 - B_3)\tau + B_3 - C_1\bar{t} - C_2t)\psi + C_1\bar{t} + C_2t,$$

Базовую систему параметрических уравнений здесь не приводим, ввиду больших размеров.

Координаты узловых точек:

$$x_{A_1} = 0; y_{A_1} = \frac{a}{2}; z_{A_1} = 0; \quad x_{A_2} = 0; y_{A_2} = -\frac{a}{2}; z_{A_2} = 0;$$

$$x_{B_1} = \frac{l}{2}; y_{B_1} = \frac{a}{2}; z_{B_1} = 0; \quad x_{B_2} = \frac{l}{2}; y_{B_2} = 0; z_{B_2} = -\Delta z; \quad x_{B_3} = \frac{l}{2}; y_{B_3} = -\frac{a}{2}; z_{B_3} = 0;$$

$$x_{C_1} = l; y_{C_1} = \frac{a}{2}; z_{C_1} = 0; \quad x_{C_2} = l; y_{C_2} = -\frac{a}{2}; z_{C_2} = 0;$$

Параметрические уравнения поверхности:

$$\begin{cases} x = -l \left(\frac{\sin(\beta + \varphi)\sin(\gamma - \varphi)}{\sin \beta \sin \gamma} + \frac{\cos \gamma \sin(\beta + \varphi)\sin \varphi}{\sin \beta \sin \gamma} - 1 \right); \\ y = a \left(\frac{\sin(\beta' + t(\pi - \beta'))\sin(\gamma' - t(\pi - \beta'))}{\sin \beta' \sin \gamma'} + \frac{\cos \gamma' \sin(\beta' + t(\pi - \beta'))\sin(t(\pi - \beta'))}{\sin \beta' \sin \gamma'} + t - 1 \right) \cdot \frac{2 \cos \gamma \sin(\beta + \varphi)\sin \varphi}{\sin \beta \sin \gamma} + \frac{a}{2} - at; \\ z = -4\Delta z \frac{\cos \gamma' \sin(\beta' + t(\pi - \beta'))\sin(t(\pi - \beta'))}{\sin \beta' \sin \gamma'} \cdot \frac{\cos \gamma \sin(\beta + \varphi)\sin \varphi}{\sin \beta \sin \gamma}. \end{cases}$$

На рисунке 8 приведена визуализация поверхности мембранного покрытия, вогнутого в двух направлениях, выполненная с помощью программного пакета Maple.

Исходя из общей схемы мембранного покрытия в этом случае (рис. 10) можно сделать заключение, что поверхности верхней и нижней полок двутавра и его стенки будут совпадать с моделью поверхности, вогнутой в одном направлении.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫПУКЛО-ВОГНУТЫХ ПОВЕРХНОСТИ МЕМБРАННОГО ПОКРЫТИЯ НА ПРЯМОУГОЛЬНОМ ПЛАНЕ И ОПОРНОЙ ДВУТАВРОВОЙ БАЛКИ

На рисунке 9 представлена общая геометрическая схема выпукло-вогнутого мембранного покрытия на прямоугольном плане и опорной двутавровой балки.

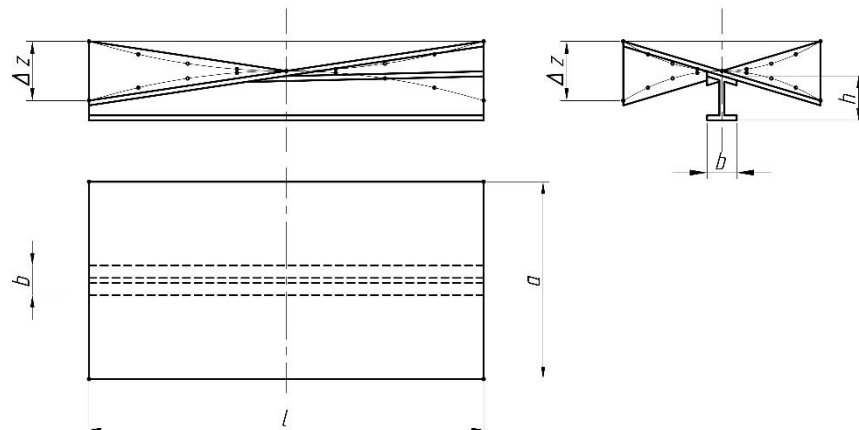


Рис. 9. Общая геометрическая схема выпукло-вогнутого мембранного покрытия с опорной балкой
 Fig. 9. General geometric scheme of a convex-concave membrane coating with a support beam

Моделирование поверхности выпукло-вогнутого мембранного покрытия

С геометрической точки зрения выпукло-вогнутая поверхность представляет собой гиперболический параболоид. Такую линейчатую поверхность мембранного покрытия можно

реализовать по следующей геометрической схеме (рис. 10): два отрезка прямых A_1A_2 , B_1B_2 , являются направляющими для построения поверхности, и текущий отрезок прямой – образующей линии поверхности.

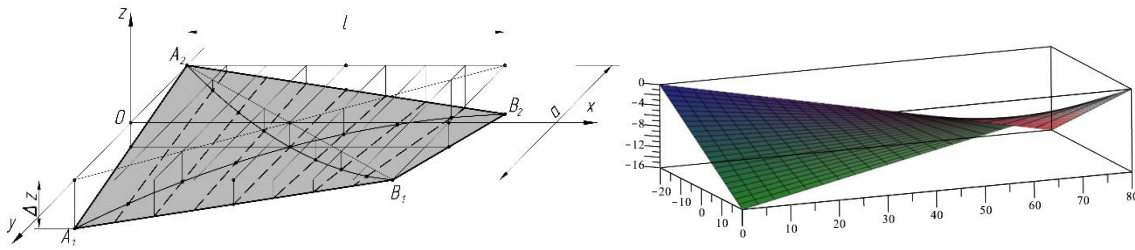


Рис. 10. Геометрическая схема линейчатой поверхности мембранного покрытия и её визуализация
Fig. 10. Geometric scheme of the linear surface of the membrane covering and its visualization

Уравнение образующей прямой:

$$M = N_A \bar{v} + N_B v,$$

где $0 \leq v \leq 1$; $\bar{v} = 1 - v$.

Уравнение направляющих:

$$N_A = A_1 \bar{u} + A_2 u, \quad N_B = B_1 \bar{u} + B_2 u, \quad \text{где } 0 \leq u \leq 1; \quad \bar{u} = 1 - u.$$

Подставив в уравнение образующей уравнения направляющих, получим уравнение поверхности:

$$M = (A_1 \bar{u} + A_2 u) \bar{v} + (B_1 \bar{u} + B_2 u) v.$$

Базовая система параметрических уравнений:

$$\begin{cases} x = (x_{A_1} \bar{u} + x_{A_2} u) \bar{v} + (x_{B_1} \bar{u} + x_{B_2} u) v; \\ y = (y_{A_1} \bar{u} + y_{A_2} u) \bar{v} + (y_{B_1} \bar{u} + y_{B_2} u) v; \\ z = (z_{A_1} \bar{u} + z_{A_2} u) \bar{v} + (z_{B_1} \bar{u} + z_{B_2} u) v. \end{cases}$$

Координаты узловых точек:

$$\begin{aligned} x_{A_1} = 0; \quad y_{A_1} = \frac{a}{2}; \quad z_{A_1} = -\Delta z; \quad x_{A_2} = 0; \quad y_{A_2} = -\frac{a}{2}; \quad z_{A_2} = 0; \\ x_{B_1} = l; \quad y_{B_1} = \frac{a}{2}; \quad z_{B_1} = 0; \quad x_{B_2} = l; \quad y_{B_2} = -\frac{a}{2}; \quad z_{B_2} = -\Delta z. \end{aligned}$$

Параметрические уравнения поверхности с учётом узловых точек:

$$\begin{cases} x = lv; \\ y = a \left(\frac{1}{2} - u \right); \\ z = -\Delta z (1 - u - v + 2uv). \end{cases}$$

На рисунке 10 приведена визуализация выпукло-вогнутой поверхности мембранного покрытия, выполненная с помощью программного пакета Maple.

Моделирование линейчатой поверхности верхней полки двутавровой балки для выпукло-вогнутого мембранного покрытия

Верхняя полка двутавра совпадает с поверхностью мембранного покрытия (рис. 11).

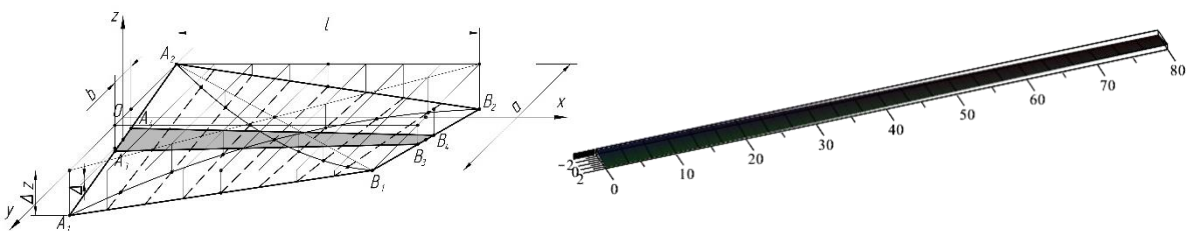


Рис. 11. Геометрическая схема поверхности верхней полки двутавра и её визуализация
Fig. 11. Geometric scheme of the top shelf surface of the I-beam and its visualization

В этом случае мы в праве использовать полученное в ранее уравнение линейчатой поверхности и базовую система параметрических уравнений.

С учётом координат узловых точек, получим параметрические уравнения поверхности верхней полки двутавра:

$$\begin{cases} x = lv; \\ y = b\left(\frac{1}{2} - u\right); \\ z = -\frac{\Delta z}{2}\left(1 + \frac{b}{a} - 2u\frac{b}{a} - 2v\frac{b}{a} + 4uv\frac{b}{a}\right). \end{cases}$$

На рисунке 11 приведена визуализация поверхности верхней полки опорного двутавра для выпукло-вогнутого мембранного покрытия, выполненная с помощью программного пакета Maple.

Исходя из общей схемы мембранного покрытия в этом случае (рис. 9) можно сделать вывод, что поверхность нижней полки двутавра будет горизонтальным прямоугольником с размерами $b \times l$, а его стенка будет вертикальным прямоугольником размерами $h \times l$, которые легко моделируются в любой системе конечно-элементного анализа напряжённо-деформированного состояния конструкций и потому в статье не приводятся.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате корректного использования математического аппарата БН-исчисление в работе получены геометрические и компьютерные модели поверхностей мембранного покрытия различной формы на прямоугольном плане и поверхностей, образующих двутавровую балку, которые используются для проведения вычислительного эксперимента по компьютерному исследованию напряженно-деформированного состояния полученных поверхностей мембранного покрытия. При этом толщина материала мембранного покрытия и поверхностей, совокупность которых образует двутавровую балку, была проигнорирована. Подобные характеристики, как и физико-механические свойства материала необходимые для расчёта напряжённо-деформированного состояния, задаются непосредственно в вычислительной системе конечно-элементного анализа. Также следует отметить, что в процессе визуализации, компьютерные модели полученных поверхностей, представленные в формате *.dxf, уже были разбиты на конечные элементы нужного размера и полностью готовы к импорту любую систему конечно-элементного анализа напряжённо-деформированного состояния исследуемой конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конопацкий, Е.В. Принципы построения компьютерных моделей многофакторных процессов методом многомерной интерполяции / Конопацкий Е.В. // Сборник материалов II Международной научно-практической конференции: «Программная инженерия: методы и технологии разработки информационно-вычислительных систем (ПЛИВС-2018)» (14-15 ноября 2018 г.). – Донецк: ДонНТУ, 2018. – С. 277-287.
2. Конопацкий, Е.В. Моделирование дуг кривых, проходящих через наперед заданные точки / Е.В. Конопацкий // Вестник компьютерных и информационных технологий. – М.: 2019. – № 2. – С. 30-36. – DOI: 10.14489/vkit.2019.02.pp.030-036.
3. Метод подвижного симплекса при конструировании 2-поверхностей многомерного пространства / Балюба И.Г. и [др.] // Моделювання та інформаційні технології: Збірник наукових праць. – К.: Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2010. – Т.1. – С.310-318.
4. Давыденко, И.П. Конструирование поверхностей пространственных форм методом подвижного симплекса: дис. ... канд. техн. наук: 05.01.01. / И.П. Давыденко. – Макеевка, 2012. – 186 с.
5. Балюба, И.Г. Конструктивная геометрия многообразий в точечном исчислении: дис. ... д-ра техн. наук: 05.01.01 / И.Г. Балюба. – Макеевка, 1995. – 227 с.
6. Балюба, И.Г. Точечное исчисление: учебное пособие / И.Г. Балюба, В.М. Найдыш; под ред. В.М. Верещаги. – Мелитополь: МГПУ им. Б. Хмельницкого, 2015. – 236 с.
7. Введение в математический аппарат БН-исчисление / Бумага А.И., Конопацкий Е.В., Крысько А.А., Чернышева О.А. // Материалы VII Международной научно-практической интернет-конференции «Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом ВУЗе: традиции и инновации». – Пермь: ПНИПУ, 2017. – Вып. 4. – С. 76-82.
8. Конопацкий, С.В. Використання узагальнених тригонометричних функцій для визначення плоских кривих / Конопацький С.В., Балюба І.Г., Верещага В.М. // Прикладна геометрія

та інженерна графіка. – Мелітополь: ТДАТУ, 2013. – Вип. 4. – Т. 57. – С.119-124.

REFERENCES

1. Konopatskiy, E.V. Principles of construction of computer models of multifactor processes and phenomena by the method of multidimensional interpolation // Proceedings of the II International scientific and practical conference: "Software engineering: methods and technologies of development of information and computing systems (PIIVS-2018)" (14-15 November 2018). Donetsk: DonNTU, 2018. pp. 277-287. (In Russian)
2. Konopatskiy E.V. Modeling of arcs of curves passing through predetermined points // Bulletin of computer and information technologies. Moscow: 2019. No. 2. 30-36 pp. DOI: 10.14489/vkit.2019.02.pp.030-036. (In Russian)
3. Method of rolling of the simplex in the design of the 2-surfaces in the multidimensional space / Baluba I.G., Polishchuk V.I., Garyagin B.F., Malyutina T.P., Davidenko I.P., Konopatskiy E.V., Kokareva J.A. // modeling and information technologies: collection of scientific works. Kiev: Institute of modeling problems in power engineering. G.E. Pukhov NAS of Ukraine, 2010. Vol.1. P. 310-318. (In Russian)
4. Davydenko, I.P. Designing surfaces of spatial forms by the method of mobile simplex: dis. ... kand. Techn. Sciences: 05.01.01. / I.P. Davydenko. - Makeyevka, 2012. - 186 p. (In Russian)
5. Baluba I.G. Constructive geometry of varieties in point calculus: dis. Dr. Techn. Sciences: 05.01.01. Makeyevka, 1995. 227 p. (In Russian)
6. Baluba I.G., Naidysh V.M. Point calculus: textbook. Melitopol: MSPU them B.Khmelnitskiy, 2015. 236 p. (In Russian)
7. Introduction to the mathematical apparatus of BN-calculation / Bumaga A.I., Konopatskiy E.V., Krysko A.A., Chernysheva O.A. // Materials VII of the International Scientific and Practical Internet Conference "Problems of the quality of graphic training of students in technical university: tradition and innovation." - Perm: PNIPU, 2017. Issue. 4. pp. 76-82. (In Russian)
8. Konopatskiy, E.V. Using generalized trigonometric functions to define plane curves / Konopatskiy E.V., Baluba I.G., Vereshaga V.M. // Applied geometry and engineering graphics. - Melitopol: TДАТУ, 2013. - Issue. 4. - T. 57. - Page 119-124. (In Russian)

GEOMETRIC AND COMPUTER MODELING OF CURVED SURFACES OF MEMBRANE COVERS ON A RECTANGULAR PLAN

Alexandra Krysko

Donbas national Academy of civil engineering and architecture, 286123, Donetsk Peoples Republic, Makeyevka, Derzhavina str., 2, a.a.krysko@donnasa.ru

Abstract. The article offers an analytical description and computer models of three curved surfaces of the membrane covering on a rectangular plan, which include a surface model that is concave in one direction, in two directions, and convex-concave. All models are obtained based on the following conceptual sequence of actions: geometric scheme of the model – analytical description in BN-calculus – computer model of the desired surface. This approach allows you not only to get a computer model of the desired geometric object in the desired parameterization, but also to make the necessary adjustments at each stage of modeling. Geometrically, all the guide lines and forming lines of the modeled surfaces consist of simple geometric objects such as straight lines and circles. However, they were determined not only in the desired parameterization in this way, but also taking into account their mutual position, which determines the initial reference lines and the set value of the maximum deflection of the beam and membrane shells. The obtained analytical descriptions of geometric objects are combined into a computational algorithm implemented in the Maple software package. As a result, the visualized computer models of the obtained surfaces were exported to dxf format, taking into account the required density of rectangular finite elements for direct import into the system of finite element analysis of the stress-strain state of SCAD Office structures, followed by a computational experiment. Thus, all geometric information, taking into account the choice of the density of the finite element network, is provided by the proposed approach to modeling membrane covering shells under pre-set conditions, and the physical and mechanical properties of the material necessary for calculating the stress-strain state of structures are set directly in the computational system of finite element analysis in the modeling process.

Key words: geometric modeling, curved surface, ruled surface, membrane covering, rectangular plan, circle arc.

ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ С КОНЦЕНТРАТОРАМИ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПАРАБОЛОИДНОГО ТИПА

Панченко^{1,2} В.А.¹Российский университет транспорта (МИИТ), 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, tu@miit.ru²Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5, vim@vim.ru

Аннотация. В статье представлены результаты разработки и исследования солнечного теплофотоэлектрического модуля с концентраторами солнечного излучения параболического типа. В состав солнечного модуля входит составной концентратор, который обеспечивает равномерную освещённость концентрированным солнечным излучением по поверхности цилиндрического теплофотоэлектрического фотоприёмника в виде алюминиевого радиатора с фотоэлектрическими преобразователями. Разработанная методика расчёта рабочего профиля концентратора позволяет обеспечивать необходимое распределение освещённости в его фокальной области. На поверхности радиатора с помощью микродугового оксидирования образован тонкий теплопроводный слой диэлектрика, на котором закреплены планарные и матричные фотоэлектрические преобразователи. При засветке концентрированным солнечным излучением электрическая эффективность специально разработанных матричных фотоэлектрических преобразователей увеличивается, а отбираемая теплоносителем теплота увеличивает общую эффективность солнечного модуля. Для визуализации теплового состояния радиатора водяного охлаждения фотоэлектрических преобразователей разработана методика расчёта, которая реализуется в программном комплексе конечно-элементного анализа Ansys и позволяет визуализировать тепловые поля и течения теплоносителя в радиаторе. В результате проведённых исследований концентраторного теплофотоэлектрического модуля получено увеличение эффективности матричных фотоэлектрических преобразователей с одновременным получением тёплой воды на выходе. Равномерное освещение фотоэлектрических преобразователей концентрированным солнечным излучением обеспечивает оптимальный режим их работы. Получаемую электрическую и тепловую энергию потребитель может использовать в автономном или параллельном с существующей энергосетью энергоснабжении.

Предмет исследования: концентратор солнечного излучения параболического типа, обеспечивающий равномерную освещённость концентрированным излучением поверхность теплофотоэлектрического фотоприёмника с кремниевыми планарными и матричными фотоэлектрическими преобразователями, отводимое от которых тепло используется потребителем, увеличивая, таким образом, общую эффективность модуля.

Материалы и методы: для создания конструкторской документации солнечного модуля применялась система автоматизированного проектирования КОМПАС 3D; для моделирования и визуализации теплового состояния радиатора водяного охлаждения с фотоэлектрическими преобразователями применялась система конечно-элементного анализа ANSYS; для электрической изоляции поверхности алюминиевого радиатора применялась технология микродугового оксидирования; для изготовления фотоприёмника солнечного модуля применялась технология капсулирования двухкомпонентным полисилоксановым компаундом; для натурных испытаний солнечного теплофотоэлектрического модуля использовалась измерительная система, позволяющая записывать электрические и температурные показатели модуля.

Результаты: в результате проведённых расчетов и исследований разработан, изготовлен и испытан солнечный теплофотоэлектрический модуль с концентраторами солнечного излучения параболического типа с матричными фотоэлектрическими преобразователями, на поверхности которых образуется равномерная освещённость, их электрическая эффективность увеличивается, а с помощью отводимой теплоты появляется возможность увеличить общую эффективность солнечного модуля.

Выводы: разработаны методики, которые позволяют рассчитывать рабочий профиль концентратора солнечного излучения параболического типа, обеспечивающий равномерную освещённость в фокальной области, и визуализировать с помощью системы конечно-элементного анализа тепловое состояние и течения теплоносителя радиатора, находящегося в фокусе концентратора. Электрическая эффективность матричных фотоэлектрических преобразователей увеличивается в потоке концентрированного солнечного потока благодаря равномерности освещённости. Теплоноситель, отбирая тепло от фотоэлектрических преобразователей, охлаждает их, увеличивая таким образом их электрическую эффективность, а полученное тепло может использоваться потребителем. Таким образом, увеличивается не только электрическая эффективность модуля, но и тепловая, что увеличивает общую эффективность модуля. Получаемую электрическую и тепловую энергию от солнечного теплофотоэлектрического модуля потребитель может использовать в автономной или параллельной с существующей сетью энергосистеме.

Ключевые слова: солнечная энергия, концентратор солнечного излучения, теплофотоэлектрический модуль, система конечно-элементного анализа, матричные фотоэлектрические преобразователи, вольтамперная характеристика, эффективность, энергоснабжение.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия энергостанции на основе преобразования возобновляемых источников энергии значительно расширили свою географию, а технологии по увеличению их эффективности развиваются опережающими темпами [1 – 4]. В большей степени получили развитие электростанции на основе преобразователей ветровой энергии и солнечной энергии, причём солнечные энергостанции последние годы имеют более активное развитие по сравнению с другими станциями на основе возобновляемой энергии [5 – 10]. Преобразование солнечной энергии в тепло и электричество представляет интерес не только для автономных и удаленных потребителей, но и для владельцев солнечных электростанций, которые могут быть использованы для решения региональных энергетических задач и глобальных проблем энергетики.

Одним из методов преобразования солнечной энергии в электрическую является метод прямого преобразования с помощью планарных и матричных фотоэлектрических преобразователей [11 – 15]. Существующие в настоящее время фотоэлектрические преобразователи можно классифицировать по количеству р-п переходов – однопереходные и многопереходные, а также по расположению р-п перехода – планарные и с вертикальными р-п переходами. К многопереходным фотоэлектрическим преобразователям можно отнести планарные – каскадные и фотоэлектрические преобразователи с вертикальным р-п переходом (матричные фотоэлектрические преобразователи). В солнечной энергетике, при использовании планарных и матричных фотоэлектрических преобразователей, выделяются два направления – фотоэлектрическое преобразование неконцентрированного и концентрированного солнечного излучения. Также существует два направления снижения стоимости солнечных фотоэлектрических станций: улучшение технико-экономических характеристик планарных фотоэлектрических преобразователей и создание станций с концентраторами солнечного излучения. Применение концентрирующих систем позволяет уменьшить количество фотоэлектрических преобразователей.

Основными особенностями матричных кремниевых фотоэлектрических преобразователей, разработанных во Всероссийском научно-исследовательском институте электрификации сельского хозяйства, является возможность их использования при высоких концентрациях солнечного излучения, при котором наблюдается увеличение их электрической эффективности [16 – 18]. При использовании таких фотоэлектрических преобразователей возможно создание комбинированной установки для производства электричества и тепла. В таких теплофотоэлектрических системах первоочередной

задачей является отвод тепла от фотоэлектрических преобразователей, где конструкция солнечных модулей может быть как планарной [19 – 24], так и концентраторной. Также в солнечных теплофотоэлектрических установках большую роль играет тип концентратора солнечного излучения и форма его рабочего профиля, а также методика его проектирования и точность изготовления [25 – 28].

Таким образом, большой потенциал для внедрения имеют солнечные концентраторные теплофотоэлектрические установки, концентраторы которых обеспечивают равномерную освещённость поверхности фотоэлектрических преобразователей, в качестве которых используются кремниевые матричные солнечные элементы, при охлаждении которых общая эффективность солнечного модуля значительно увеличивается.

МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ КОНЦЕНТРАТОРОВ

Для создания подобных установок, основой которых являются концентраторы солнечного излучения, необходима разработка методики расчёта рабочего профиля концентратора, который обеспечивал бы равномерную освещённость в фокальной области и выбор метода изготовления такого концентратора солнечного излучения.

Центробежный метод [29] позволяет получать параболические поверхности с помощью свойства жидкости приобретать параболическую поверхность при равномерном вращении. Жидкости с разными удельными весами образуют эквипотенциальные поверхности при равномерном вращении, когда на равномерно вращающуюся жидкость наливается более лёгкий материал, который в процессе вращения твердеет. После отверждения образуется выпуклая форму-оригинал, которая имеет гладкую поверхность высокой чистоты, образованная на разделе двух жидкостей.

Метод гальванопластики [29] позволяет изготавливать легкие металлические концентраторы солнечного излучения высокой точности и практически любых размеров. В процессе изготовления на матрицу, которая имеет необходимую конфигурацию и высокий класс чистоты отражающей поверхности, химическим способом наносится токопроводящий слой серебра, на который затем электрохимически осаждается слой металла (никель, медь), который имеет заданную толщину. К полученной копии крепится каркас жесткости, после чего она отделяется от матрицы.

Метод моллирования стекла [29] заключается в прогибе листового стекла на металлическую матрицу при нагреве до температур размягчения стекла под действием силы веса или вакуума. Матрица состоит из плиты, на которой установлены ленты стойки с поворотными площадками. Перед моллированием площадки устанавливаются по

касательным к необходимой поверхности с помощью специальных шаблонов, после чего ориентированные площадки на стойках фиксируются и матрица готова к проведению процесса моллирования.

Изготовление отражающей поверхности из плоских изогнутых зеркал [29] заключается в прогибе стекла по опорам, расположенным по его периферии, с помощью приложения усилий в центре стекла, когда величина прогиба находится в пределах упругого прогиба.

Параболические концентраторы с небольшой точностью изготовления для приготовления пищи и нагрева воды популярны среди сельских жителей Азии, Африки и других южных стран. Подобные концентраторы изготавливаются зачастую вручную с небольшой точностью, однако пригодные для приготовления пищи и нагрева воды. Основания таких концентраторов зачастую изготавливаются из бамбука, а светоотражающая поверхность из светоотражающих алюминиевых полос. Фома таких концентраторов может быть фасетной, квадратированной в виде параболоида. Окупаемость таких концентраторов зачастую составляет меньше одного года. Не редко к качеству концентратора солнечного излучения может применяться стандартная спутниковая антенна, на поверхность которой нанесено светоотражающее покрытие.

Для изготовления концентраторов солнечного излучения главной задачей, наряду с технологией изготовления является расчёт его рабочего профиля, который при использовании совместно с матричными фотоэлектрическими преобразователями должен обеспечивать на их поверхности равномерную освещённость с целью обеспечения их максимальной электрической эффективности.

МЕТОДИКА РАСЧЁТА ПРОФИЛЯ КОНЦЕНТРАТОРА ПАРАБОЛОИДНОГО ТИПА ДЛЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Методика расчёта рабочего профиля концентратора солнечного излучения

параболоидного типа базируется на подборе соответствующих параболических профилей концентратора, которые удовлетворили бы конкретным граничным условиям, таким, как распределение освещённости концентрированным солнечным излучением, размер фокальной области, размеры фотоприёмника, необходимая мощность и т.д.. С использованием разработанной методики рассчитан составной концентратор параболоидного типа солнечного теплофотоэлектрического модуля, который обеспечивает равномерную освещённость концентрированным солнечным излучением в области фокального пятна на поверхности цилиндрического фотоприёмника. В рассматриваемом солнечном модуле обеспечивается работа фотоэлектрических преобразователей при средних концентрациях солнечного излучения (5 – 10 крат), получение технически приемлемого напряжения (12 В и выше), увеличение эффективности преобразования солнечного излучения, уменьшение стоимости вырабатываемой энергии, а также догрев теплоносителя до более высоких температур с помощью второго концентратора для тепловой части фотоприёмника.

Теплофотоэлектрический солнечный модуль (рисунок 1 слева) состоит из концентратора солнечного излучения параболоидного типа 1, который обеспечивает концентрацию солнечного излучения в фокальной области на цилиндрической фотоэлектрической части 3 поверхности фотоэлектрического модуля 2 и в фокальной области на поверхности тепловой части 4 фотоприёмника.

Солнечное излучение, попадая на поверхность концентратора 1, отражается под углами наклона, ориентированными в своих зонах ($a - b$, $b - c$, $c - d$) таким образом, что обеспечивается достаточно равномерная концентрация освещённости солнечным излучением:

- на фотоэлектрическом фотоприёмнике 3 радиатора 2, выполненного в виде цилиндра с радиусом r_0 из скоммутированных матричных фотоэлектрических преобразователей с высотой h_0 . Радиатор 2 соединён с устройством охлаждения 5;

- на тепловом фотоприёмнике 4 радиатора 2, выполненного в виде усеченного конуса с максимальным радиусом r_0 и минимальным радиусом r_{B0} боковой поверхности для догрева теплоносителя.

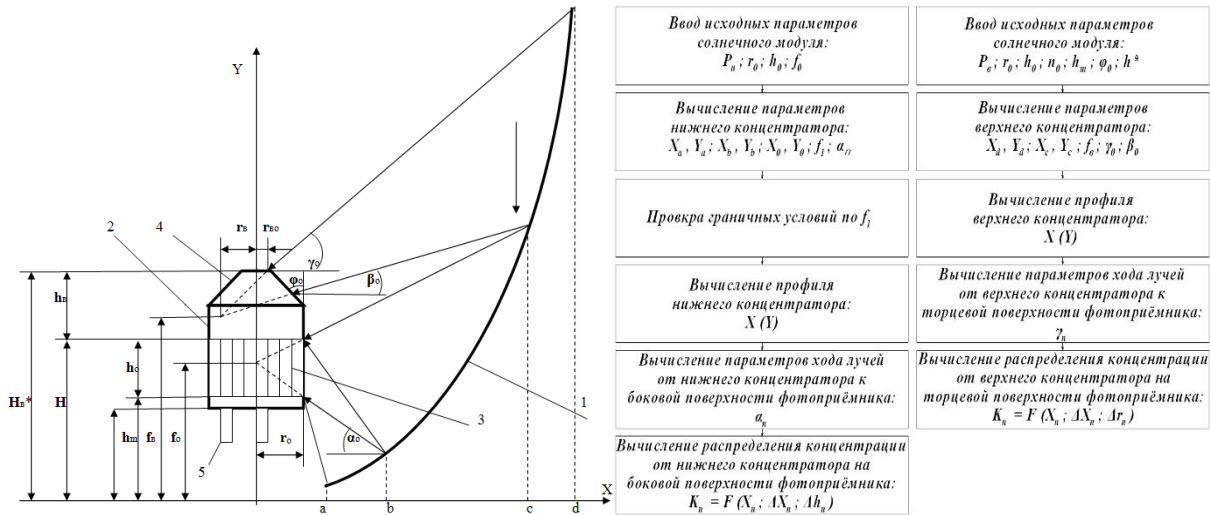


Рис. 1. Схема работы теплофотоэлектрического модуля (слева) и методика расчёта профиля концентратора (справа)
Fig. 1. The scheme of operation of the photovoltaic module (left) and the method for calculating the profile of the concentrator (right)

На примере составного двойного концентратора солнечного излучения, на рисунке 1 справа представлена методика расчёта его профиля, где P_n – мощность падающего солнечного излучения на нижний концентратор; P_e – мощность падающего солнечного излучения на верхний концентратор; h_o – высота фотоэлектрической части фотоприёмника; h^* – высота конусной (тепловой) части фотоприёмника; h_m – конструктивный параметр; r_o – радиус цилиндра фотоприёмника; n_o – количество интервалов при расчете в программе EXCEL; n – текущий интервал при расчете в программе EXCEL; f_o – фокусное расстояние параболы в зоне $b - c$; f_1 –

фокусное расстояние параболы в зоне $a - b$; f_b – фокусное расстояние параболы в зоне $c - d$; β_o – угол между отраженным от поверхности в точке координат X_c, Y_c верхнего концентратора и уровнем f_b ; γ_o – угол в зоне рабочего профиля концентратора $c - d$ между отраженным от поверхности в точке координат X, Y и уровнем f_b .

Профиль отражающей поверхности зон $a - b, b - c$ концентратора $X (Y)$ определяется системой уравнений, соответствующей условию распределения освещенности концентрированным излучением всей поверхности фотоэлектрической части теплофотоэлектрического приемника:

$$\left\{ \begin{aligned} X_n &= R_n - (k-1) \cdot r_o, X_n = \left[4 \cdot f_1 \cdot (Y^* + Y_n^*) \right]^{\frac{1}{2}}, Y_n = \frac{R_n^2}{4} \cdot f_o, \\ \Delta\alpha &= \frac{\alpha_o}{N}, \alpha_n = \alpha_o \cdot \left(n - \frac{N}{2} \right), R = Y_n \cdot L - \frac{X_b^2}{4}, R_n = 2 \cdot f \cdot (\operatorname{tg} \alpha_n + \cos \alpha_n), \\ \Delta Y^* &= \frac{X^{*2}}{4} \cdot f_1, Y_n^* = \Delta Y^* \cdot n, X^* = 2 \cdot f_1 \cdot Q \cdot \left[\left(1 + \frac{1}{Q^2} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right], \Delta Y = \frac{P \cdot \left[1 \pm \left(1 - \frac{4 \cdot R}{P^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right]}{2}, \\ Q &= \frac{B}{r_o}, B = h_o + h, P = L + Y_n, L = f_o + h + \frac{h_o}{2}, \end{aligned} \right. \quad (1)$$

где R_n – радиус концентратора в зоне $a - c$ в точке с координатами X_n, Y_n поверхности параболы с фокусным расстоянием f_o ; α_n – угол между уровнем ординаты в точке с координатами X_n, Y_n и отраженным от поверхности параболы лучом, приходящим в фокальную область с шириной h_o , расположенной на радиусе r_o фотоприёмника в интервалах $\Delta\alpha = \alpha_o / N$, где n выбирается из ряда целых чисел $n = 1, 2, 3 \dots N$; α_o – угол между уровнем ординаты Y_b и лучом, отражённым от рабочей поверхности концентратора в точке с координатами X_b, Y_b и приходящим в нижнюю часть фокальной

области цилиндрического фотоприёмника с шириной h_o ; параметр h изменяется в пределах от 0 до h_o ; значения параметров f_o, f_1, k выбираются исходя из граничных условий в соответствии с методикой расчёта профиля концентратора и распределением концентрации на поверхности фотоприёмника.

Геометрическая концентрация освещенности фотоэлектрического приемника K_n в интервалах радиуса концентратора $\Delta R_n = R_{n+1} - R_n = \Delta X_n = X_n - X_{n-1}$ определяется как:

$$K_n = \frac{(R_{n+1}^2 - R_n^2)}{\Delta h_n}, \Delta h_n = \frac{(h_0 \cdot n)}{N} \quad (2)$$

Профиль отражающей поверхности зоны $c - d$ концентратора $X (Y)$ определяется системой уравнений, соответствующей условию распределения освещённости концентрированным

солнечным излучением всей поверхности тепловой части фотоприёмника, выполненного в виде усеченного конуса:

$$\begin{cases} \operatorname{tg} \beta = \frac{(Y_c - H_B)}{(R_c - r_{B0})}, \operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{h^*}{(r_0 - r_{B0}^*)}, \\ f_B = Y_c - X_c \cdot \operatorname{tg} \beta_B, r_B = X_c - R_c, \\ d^* = \frac{h^*}{\sin \varphi_0}, d_n^* = d^* \cdot \frac{n}{N}, \\ X_c = 2 \cdot Y_c \cdot \left(\frac{1}{\cos \beta_B} - \operatorname{tg} \beta_B \right), X_{Bn} = 2 \cdot f \cdot \left(\operatorname{tg} \gamma_{Bn} + \frac{1}{\cos \gamma_{Bn}} \right), \end{cases} \quad (3)$$

где β_0 – угол между уровнем ординаты в точке с координатами X_c, Y_c и отражённым от поверхности параболы с фокусным расстоянием f_0 лучом, приходящим в фокальную область усеченного конуса с радиусом r_0 фотоприёмника; γ_n – угол между уровнем ординаты в точке с координатами X_n, Y_n в зоне $c - d$ и отражённым от поверхности параболы с фокусным расстоянием f_0 лучом, приходящим в фокальную область усеченного конуса с шириной d^* фотоприёмника в интервалах $\Delta d^* = d^* / N$, где n выбирается из ряда целых чисел

$n = 1, 2, 3 \dots N$; φ_0 – угол наклона боковой поверхности усечённого конуса фотоприёмника; значения параметров f_0, φ_0 выбираются исходя из граничных условий в соответствии с методикой расчёта профиля концентратора и распределением концентрации на поверхности усечённого конуса.

Геометрическая концентрация освещённости теплового фотоприёмника K_n в интервалах радиуса концентратора $\Delta R_n = R_{n+1} - R_n = \Delta X_n = X_n - X_{n-1}$ определяется как:

$$K_n = \frac{(R_{n+1}^2 - R_n^2)}{(r_{n+1}^* + r_n^*) \cdot \Delta d^*} \quad (4)$$

На основании вышеприведённых формул произведён расчёт профиля отражающей поверхности концентратора солнечного излучения – график зависимости $X (Y)$ (рисунок 2 слева) и расчёт распределения концентрации освещённости от зон $a - b, b - c$ на боковую поверхность цилиндрического фотоэлектрического приёмника в зависимости от ширины фокальной области (от 0 до h_0) в

относительных единицах (от 0 до 1) (рисунок 2 посередине). На рисунке 2 справа представлено распределение концентрации освещённости от зоны $c - d$ по торцевой поверхности тепловой части фотоприёмника в виде усечённого конуса в зависимости от ширины фокальной области (от 0 до d^*) в относительных единицах (от 0 до 1).

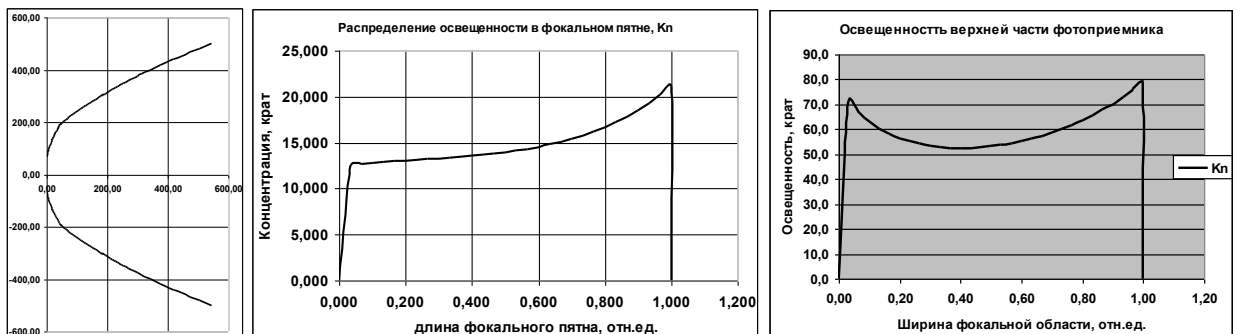


Рис. 2. Профиль отражающей поверхности концентратора (слева), распределение концентрации освещённости на фотоэлектрической (посередине) и тепловой частях фотоприёмника (справа)
Fig. 2. The profile of the reflecting surface of the concentrator (left), the distribution of the concentration of illumination on the photoelectric (in the middle) and the thermal parts of the photodetector (right)

Благодаря полученным расчётным профилям концентраторов с помощью систем автоматизированного проектирования появляется возможность создания их трёхмерных моделей. На рисунке 3 представлен пример такого концентратора солнечного излучения

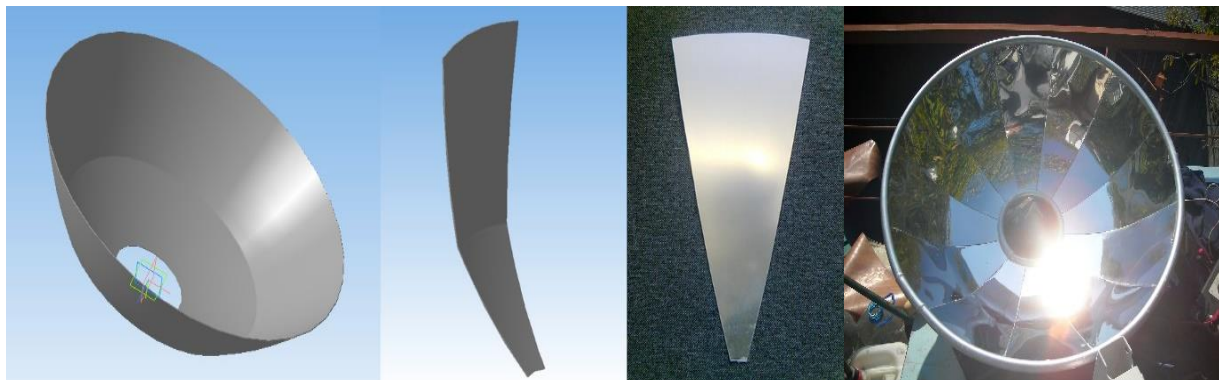


Рис. 3. Трёхмерная модель концентратора (слева), единичная его составная часть (посередине) и изготовленный концентратор из светоотражающего металла (справа)

Fig. 3. Three-dimensional model of the concentrator (left), its single component (in the middle) and the concentrator made of light-reflecting metal (right)

Разработанный концентратор солнечного излучения параболического типа комплектуется фотоприёмником для теплофотоэлектрического преобразования солнечного излучения. Фотоприёмник состоит из цилиндрического радиатора водяного охлаждения, теплоноситель которого обеспечивает теплосъём от кремниевых матричных фотоэлектрических преобразователей, находящихся на его поверхности. Электроизоляция фотоэлектрических преобразователей обеспечивается благодаря теплопроводящему и электроизоляционному слою на алюминиевом радиаторе, который получен с помощью микродугового оксидирования. С целью моделирования теплового состояния радиатора и его визуализации, разработана методика, которая реализуется в системе конечно-элементного анализа Ansys.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ РАДИАТОРА ФОТОПРИЁМНИКА В СИСТЕМЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА ANSYS

Моделирование теплового состояния радиатора водяного охлаждения фотоприёмника концентраторного солнечного модуля проводилось в системе конечно-элементного анализа ANSYS. Для расчёта его теплового состояния разработана методика, для реализации которой в программных комплексах Autocad и ANSYS рассмотрены различные конструкции радиаторов и для каждой конструкции рассчитан тепловой режим работы.

Моделирование проводилось при следующих параметрах: плотность теплового потока 8200 Вт/м²; толщина кремниевого фотоэлектрического преобразователя 0,3 мм; теплопроводность кремния 149 Вт/(м·К); теплоёмкость кремния 800 Дж/(кг·К); плотность кремния 2300 кг/м³; теплопроводность алюминия 160 Вт/(м·К); теплоёмкость алюминия 880 Дж/кг·К; плотность алюминия 2800 кг/м³; толщина теплопроводной пасты 0,1 мм; теплопроводность теплопроводной пасты 1 Вт/(м·К); тепловой поток через боковую поверхность радиатора 300 Вт; тепловой поток через верхнюю поверхность радиатора 500 Вт; температура теплоносителя на входе радиатора 300 К; расход теплоносителя 1 л/мин. На рисунке 4 представлена конструкция одной из моделей радиатора, распределения температур радиатора, скорость воды и её линии течения.

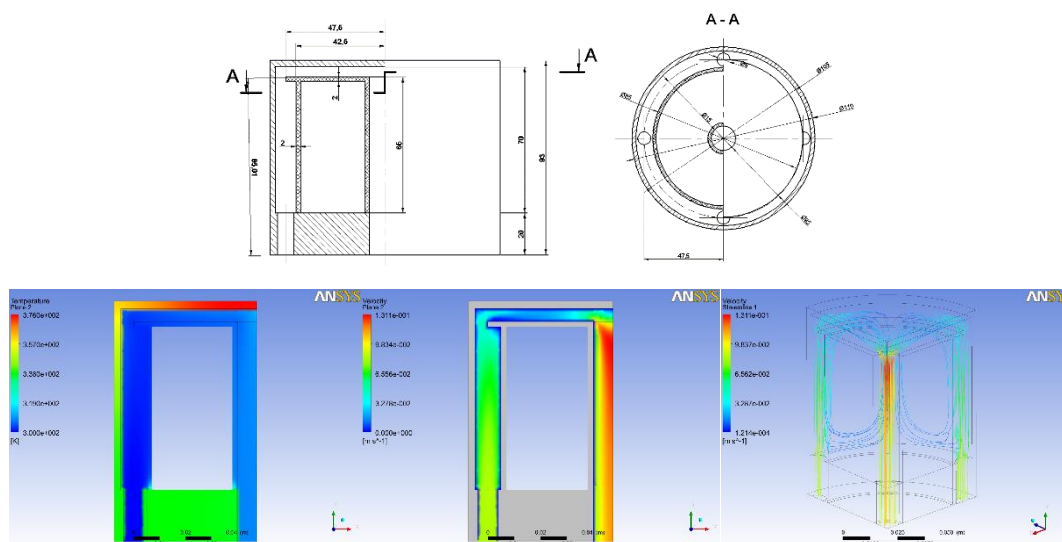


Рис. 4. Конструкция радиатора, распределение температур радиатора, скорость воды и её линии течения
Fig. 4. Radiator design, radiator temperature distribution, water velocity and its flow lines

Температуры воды на выходе из радиатора в 49 °С и температуры фотоэлектрических преобразователей в 59 °С удалось добиться при различных расходах теплоносителя (0,5 – 1 л/мин). При расходе теплоносителя, равном 0,25 л/мин, температура воды на выходе из радиатора повышается, но также происходит и перегрев фотоэлектрических преобразователей. Также следует отметить, что в когенерационной солнечной установке возможно использование различных рассмотренных конструкций радиаторов с различными расходами теплоносителя, но или с перегревом фотоэлектрических преобразователей или с недогревом воды на выходе из радиатора. Поэтому задача оптимизации температур являлась наиболее важной в этом вопросе

НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СОЛНЕЧНОЙ УСТАНОВКИ С

КОНЦЕНТРАТОРАМИ ПАРАБОЛОИДНОГО ТИПА

В ходе натуральных испытаний исследованы два концентратора солнечного излучения параболического типа с теплофотоэлектрическим фотоприёмником. Концентраторы имеют различное назначение и диаметры: большой концентратор с диаметром 1 м является нагревающим, то есть он крепится к основному малому концентратору (0,6 м), благодаря чему увеличивается концентрация солнечного излучения на верхней поверхности фотоприёмника, увеличивая таким образом его температуру.

Внешний вид теплофотоэлектрической солнечной установки без концентратора с диаметром 1 м представлен на рисунке 5 слева. Внешний вид теплофотоэлектрической солнечной установки с двумя концентраторами, а также распределение освещённости по поверхности цилиндрического фотоприёмника представлены на рисунке 5 справа.

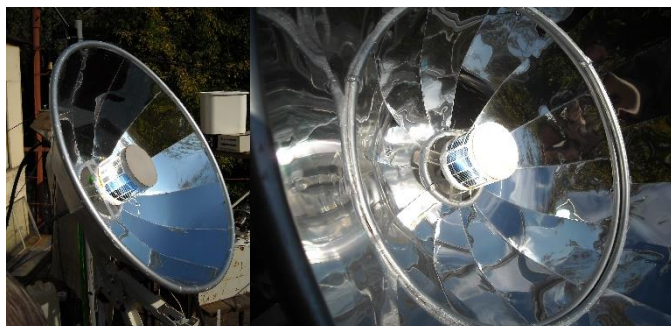


Рис. 5. Теплофотоэлектрический модуль с малым (слева) и с двумя концентраторами (справа)
Fig. 5. Photovoltaic thermal module with a small (left) and with two concentrators (right)

Концентратор солнечного излучения с диаметром 0,6 м предназначен для обеспечения равномерной освещённости боковой поверхности теплофотоэлектрического фотоприёмника, где располагаются фотоэлектрические

преобразователи, а концентратор с диаметром 1 м предназначен для повышения температуры теплоносителя, который омывает верхнюю поверхность цилиндрического фотоприёмника, что

увеличивает его температуру и общую эффективность солнечного модуля.

Сравнение вольтамперных характеристик фотоэлектрических преобразователей при естественном солнечном освещении.

В составе теплофотоэлектрического приёмника применяются четыре типа фотоэлектрических преобразователей (рисунок 6) – тонкий

двусторонний, круглый двусторонний, круглый односторонний и матричный фотоэлектрические преобразователи. Каждый тип фотоэлектрических преобразователей испытывался с целью определения его вольтамперной характеристики, мощности, коэффициента заполнения вольтамперной характеристики и коэффициента полезного действия.

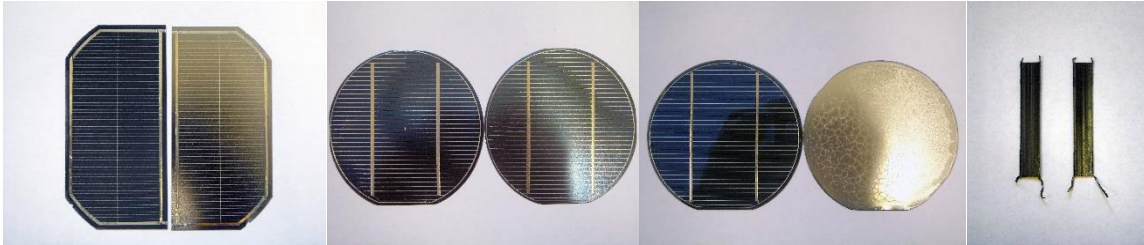


Рис. 6. Фотоэлектрические преобразователи, используемые в фотоприёмнике

Fig. 6. Photoelectric converters used in the photodetector

На рисунке 7 представлены вольтамперные характеристики планарных фотоэлектрических преобразователей, используемых для резки и последующей сборки в фотоприёмник солнечного модуля. Обозначены параметры планарных фотоэлектрических преобразователей в рабочей точке.

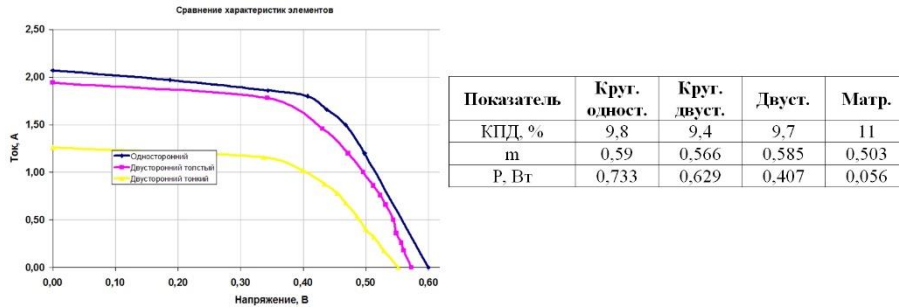


Рис. 7. Вольтамперные характеристики планарных фотоэлектрических преобразователей

Fig. 7. Current-voltage characteristics of planar photoelectric converters

На рисунке 8 представлены вольтамперные характеристики планарных фотоэлектрических преобразователей после резки по размерам 70 мм × 20 мм.

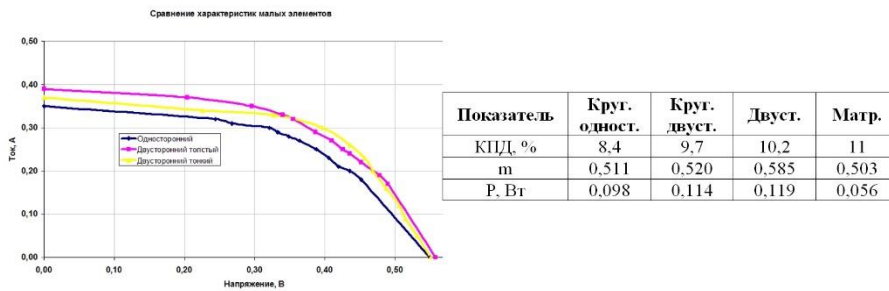


Рис. 8. Вольтамперные характеристики планарных фотоэлектрических преобразователей после резки

Fig. 8. Current-voltage characteristics of planar photoelectric converters after cutting

Вольтамперные характеристики планарных фотоэлектрических преобразователей, скоммутированных в группы, показаны на рисунке 9.

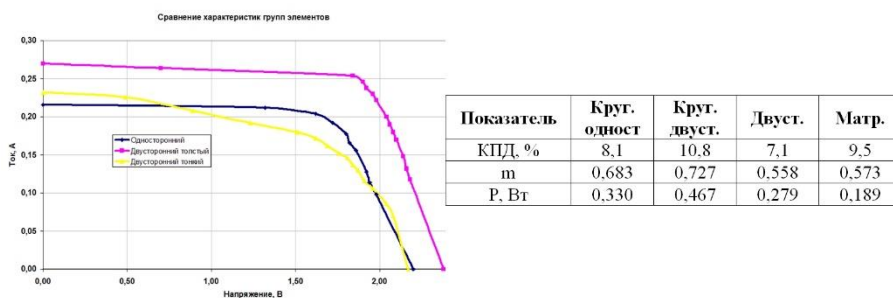


Рис. 9. Вольтамперные характеристики планарных фотоэлектрических преобразователей в группах
 Fig. 9. Current-voltage characteristics of planar photoelectric converters in groups

Как видно из представленных вольтамперных характеристик фотоэлектрических преобразователей при коммутации происходит небольшое ухудшение показателей электрической эффективности.

На рисунках 10 – 13 представлены вольтамперные характеристики каждой группы фотоэлектрических преобразователей при различных условиях освещения и охлаждения: при естественном солнечном освещении, без водяного охлаждения при работе в концентрированном солнечном излучении и с водяным охлаждением с различным расходом теплоносителя.

Сравнение вольтамперных характеристик групп фотоэлектрических преобразователей при различных условиях освещения и охлаждения.

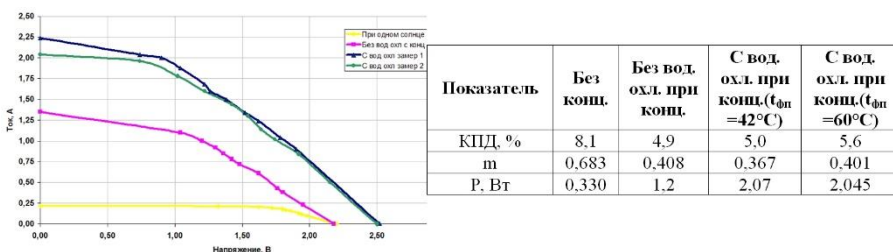


Рис. 10. Вольтамперные характеристики группы односторонних фотоэлектрических преобразователей
 Fig. 10. Current-voltage characteristics of a group of one-sided photoelectric converters

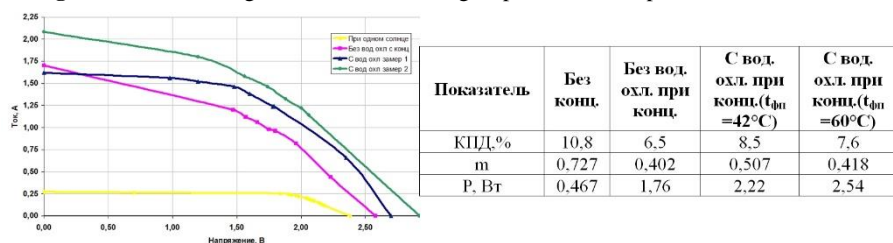


Рис. 11. Вольтамперные характеристики группы двусторонних фотоэлектрических преобразователей
 Fig. 11. Current-voltage characteristics of a group of two-sided photoelectric converters

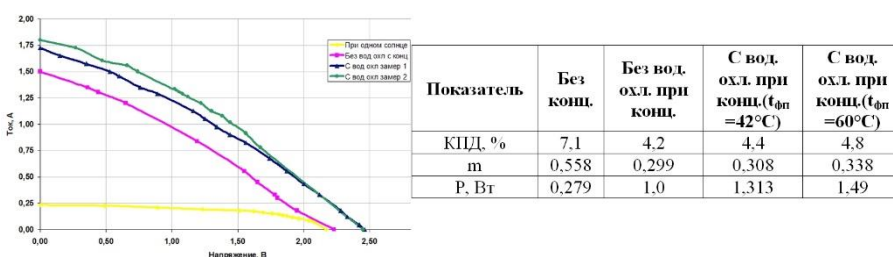


Рис. 12. Вольтамперные характеристики группы двусторонних тонких фотоэлектрических преобразователей
 Fig. 12. Current-voltage characteristics of a group of two-sided thin photoelectric converters

На основании графиков можно сделать вывод, что снижение электрической эффективности планарных фотоэлектрических преобразователей происходит в результате увеличения температуры при концентрации солнечного излучения без

охлаждения. Вольтамперные характеристики имеют треугольную форму из-за неблагоприятных условий работы (высокая температура и концентрация солнечного излучения).

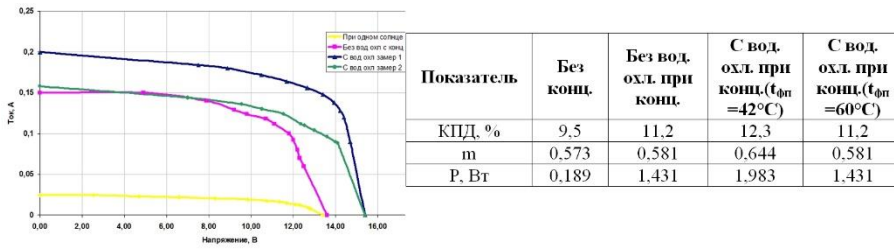


Рис. 13. Вольтамперные характеристики группы матричных высоковольтных фотоэлектрических преобразователей
Fig. 13. Current-voltage characteristics of a group of matrix high-voltage photoelectric converters

Повышение температуры и концентрация солнечного излучения не так негативно влияют на электрическую эффективность матричных высоковольтных фотоэлектрических преобразователей. Вольтамперные характеристики группы матричных высоковольтных фотоэлектрических преобразователей имеют прямоугольную форму. Возможно повышение концентрации солнечного излучения при достаточном охлаждении, следствием чего будет увеличение электрической эффективности и выходной электрической мощности.

Электрическая эффективность солнечного теплофотоэлектрического модуля при работе с концентратором солнечного излучения параболического типа без учета оптических потерь увеличивается с 9,5 % до 12,3 %. С учетом оптических потерь $\eta_{opt} = 0,65$ электрическая эффективность составит 7,4 %, при учёте оптических потерь $\eta_{opt} = 0,8$ электрическая эффективность фотоэлектрического преобразования модуля повышается до 9,9 %, что говорит о целесообразности применения матричных высоковольтных фотоэлектрических преобразователей в составе теплофотоэлектрической установки с концентраторами параболического типа.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСВЕЩЁННОСТИ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПО ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИЁМНИКА

Распределение освещённости солнечного излучения от концентраторов параболического типа измерялось эталонным матричным высоковольтным фотоэлектрическим преобразователем с площадью 1 см² по всей высоте кольцевой фокальной области. Замеры распределения освещённости проводились с двух сторон поверхности цилиндрического фотоприёмника. В ходе экспериментов сделано 12 измерений по количеству facets, из которых изготовлен концентратор. Распределение освещённости от концентратора с диаметром 0,6 м представлено на рисунке 14 слева и посередине. Средняя концентрация составила около 7 крат. Распределение освещённости по верхней поверхности цилиндрического фотоприёмника от концентратора с диаметром 1 м представлено на рисунке 14 справа.

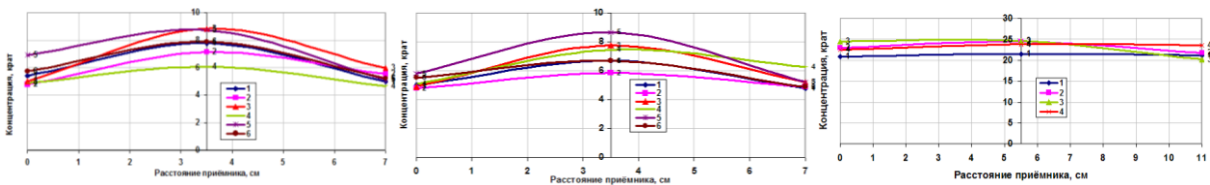


Рис. 14. Распределение освещённости на боковой поверхности фотоприёмника от концентратора с диаметром 0,6 м (слева и посередине) и распределение освещённости на верхней поверхности фотоприёмника от концентратора с диаметром 1 м (справа)

Fig. 14. Illumination distribution on the lateral surface of the photodetector from a concentrator with a diameter of 0,6 m (left and middle) and illumination distribution on the upper surface of the photodetector from a concentrator with a diameter of 1 m (right)

Концентрация по верхней поверхности цилиндрического фотоприёмника составила 20 – 25 крат, а средняя величина распределения концентрации составила 23 крат.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОТЫ ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ

Наряду с вольтамперными характеристиками фотоэлектрических преобразователей большой интерес представляют тепловые параметры работы солнечного модуля. Тепловые характеристики боковой и верхней поверхностей цилиндрического радиатора фотоприёмника и поверхности фотоэлектрических преобразователей при освещении концентратором солнечного излучения с диаметром 0,6 м и воздушном охлаждении фотоэлектрических преобразователей представлены

на рисунке 15 (слева). В ходе эксперимента температура поверхности фотоэлектрических преобразователей составила 74 °С. Тепловые характеристики поверхностей цилиндрического радиатора фотоприёмника и поверхности фотоэлектрических преобразователей при освещении двумя концентраторами солнечного излучения с диаметрами 0,6 м и 1 м при воздушном охлаждении фотоэлектрических преобразователей представлены на рисунке 15 справа. При освещении двумя концентраторами температура радиатора сильно возросла, поэтому измерения проводились в короткий промежуток времени (1 мин), так как при более длительном нагреве от двух концентраторов и без водяного охлаждения происходит перегрев фотоэлектрических преобразователей.

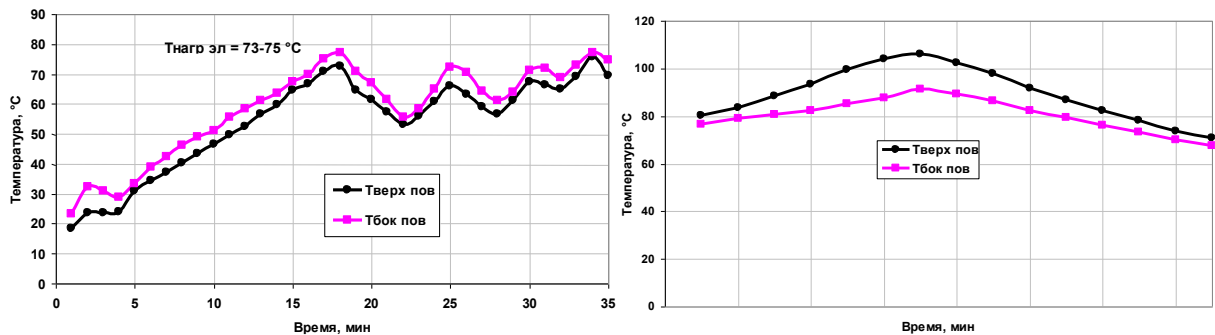


Рис. 15. Тепловые характеристики радиатора при работе с концентратором с диаметром 0,6м и воздушном охлаждении радиатора (слева) и при освещении двумя концентраторами с диаметрами 0,6 м и 1 м и воздушном охлаждении радиатора (справа)

Fig. 15. Thermal characteristics of the radiator when working with a concentrator with a diameter of 0,6 m and air cooling of the radiator (left) and when illuminated with two concentrators with diameters of 0,6 m and 1 m and air cooling of the radiator (right)

Тепловые характеристики поверхностей радиатора, поверхности фотоэлектрических преобразователей и величина расхода воды при освещении концентратором солнечного излучения с диаметром 0,6 м и водяном охлаждении представлены на рисунке 16 слева. Температура поверхности фотоэлектрических преобразователей в начале эксперимента составила 60 °С при расходе воды 0,3 л/мин. При увеличении расхода воды до 1,5

л/мин температура поверхности фотоэлектрических преобразователей уменьшилась до 42 °С. Тепловые характеристики поверхностей радиатора, поверхности фотоэлектрических преобразователей, величина расхода воды и её температура на выходе при освещении двумя концентраторами с диаметрами 0,6 м и 1 м с водяным охлаждением радиатора представлены на рисунке 16 справа.

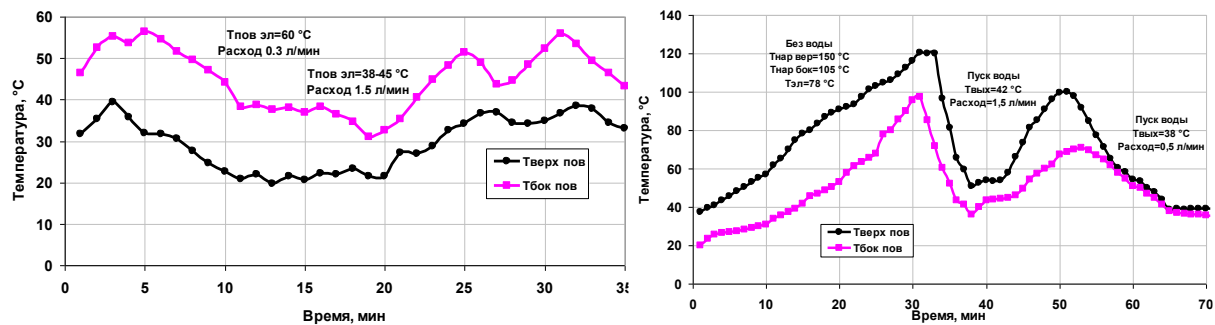


Рис. 16. Тепловые характеристики радиатора и расход воды при освещении концентратором с диаметром 0,6 м и водяном охлаждении радиатора (слева) и при освещении двумя концентраторами с диаметрами 0,6 м и 1 м и водяном охлаждении радиатора (справа)

Fig. 16. Thermal characteristics of the radiator and water flow when illuminated by a concentrator with a diameter of 0,6 m and water cooling of the radiator (left) and when illuminated by two concentrators with diameters of 0,6 m and 1 m and water cooling of the radiator (right)

Температура поверхности фотоэлектрических преобразователей в начале эксперимента составила 78 °С без водяного охлаждения радиатора, а температуры верхней и боковой поверхностей радиатора составили 150 °С и 105 °С соответственно. При расходе воды 1,5 л/мин температура воды на выходе из радиатора составила 42 °С. При уменьшении расхода воды до 0,5 л/мин её температура на выходе из радиатора составила 38 °С.

ВЫВОДЫ

В результате проведённых исследований обосновано эффективное использование концентраторов солнечного излучения параболического типа совместно с кремниевыми матричными высоковольтными фотоэлектрическими преобразователями. Предложенная методика расчёта рабочего профиля концентратора солнечного излучения обеспечивает увеличение электрической эффективности и необходимое распределение освещённости на поверхности цилиндрического фотоприёмника. Проведённые расчёты тепловых режимов работы радиатора водяного охлаждения фотоэлектрических преобразователей в системе конечно-элементного анализа Ansys позволяют визуализировать тепловое состояние радиатора, оптимизировать параметры конструкции теплофотоэлектрического модуля и самого фотоприёмника.

Разработаны и изготовлены фотоприёмники концентрированного солнечного излучения с планарными и матричными фотоэлектрическими преобразователями. На основании проведенных натурных испытаний солнечного теплофотоэлектрического модуля типа при различных условиях освещения и охлаждения доказано, что электрическая эффективность матричных высоковольтных фотоэлектрических преобразователей без учета оптических потерь увеличивается с 9,5 % до 12,3 %, что подтверждает целесообразность применения матричных высоковольтных фотоэлектрических преобразователей в составе теплофотоэлектрической установки с концентраторами солнечного излучения параболического типа. При расходах воды 0,5 – 1,5 л/мин температура воды на выходе из радиатора составила 38 – 42 °С. В зависимости от расхода теплоносителя возможно регулирование его температуры на выходе.

При использовании концентраторного теплофотоэлектрического солнечного модуля следует отметить такие положительные аспекты, как экономия кремния высокой степени очистки, наряду с электрической энергией потребитель получает и тепловую энергию, при промышленном изготовлении разработанных солнечных модулей с использованием матричных фотоэлектрических преобразователей с электрической эффективностью более 15 % стоимость установленной электрической

мощности будет меньше стоимости установленной мощности планарных солнечных модулей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бекиров Э.А., Асанов М.М., Алькаата А. Оптимизация режимов работы систем электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии. Строительство и техногенная безопасность, 13(65), 2018, с. 107-112.
2. Гапеева Н.А., Жиленко О.Б. Автономное теплоснабжение высотных зданий. Строительство и техногенная безопасность, 10(62), 2018, с. 77-89.
3. Новикова О.В., Мельниченко А.С., Лучникова А.Д. Методические подходы к энергоснабжению с использованием возобновляемых источников энергии на объектах транспортной инфраструктуры федерального значения. Строительство и техногенная безопасность, 12(64), 2018, с. 81-90.
4. Амерханов Р.А., Бекиров Э.А., Асанов М.М. Методы оптимизации работы теплоэлектростанции при совместной генерации с ветро- и солнечной электростанциями. Строительство и техногенная безопасность, 14(66), 2019, с. 93-100.
5. Голикова А.А., Нагаева З.С. Пассивный дом (экодом). Строительство и техногенная безопасность, 14(66), 2019, с. 15-20.
6. Дегтярёв К.С., Панченко В.А. Развитие и реализованные проекты солнечной энергетики в России. Сантехника, отопление, кондиционирование, №9, 2019, с. 74-79.
7. Панченко В.А. Перспективы энергоснабжения объектов арктической зоны РФ с помощью морозостойких солнечных модулей различной конструкции. Строительство и техногенная безопасность, 17(69), 2019, с. 69 – 88.
8. Соловьев А.К. Экономия энергии при эксплуатации зданий и пассивные системы использования солнечной энергии. Строительство и техногенная безопасность, 10(62), 2018, с. 179-191.
9. Муровский С.П., Сокут Л.Д. Перспективные направления модернизации солнечных электростанций Республики Крым. Строительство и техногенная безопасность, 15(67), 2019, с. 149-158.
10. Гвоздкова Ю. Д., Гвоздкова И. А. Многокритериальная эколого-ориентированная оценка энергоустановок на основе фотоэлементов с различным материалом активного слоя. Строительство и техногенная безопасность, 17(69), 2019, с. 89-102.
11. Панченко В.А. Обзор и применение солнечных модулей, разрабатываемых и выпускаемых ГНУ ВИЭСХ. Вестник ВИЭСХ, 2014, № 4 (17), с. 20 – 29.
12. Стребков Д.С., Бобовников Н.Ю., Иродионов А.Е., Кирсанов А.И., Панченко В.А., Филиппченкова Н.С. Программа "Один миллион солнечных крыш" в России. Вестник ВИЭСХ, 2016, № 3 (24), с.84 – 87.
13. Panchenko V. Photovoltaic solar modules for autonomous heat and power supply. IOP Conference

Series: Earth and Environmental Science 317 (2019) 012002, 9 p. doi:10.1088/1755-1315/317/1/012002.

14. Panchenko V., Izmailov A., Kharchenko V., Lobachevskiy Y. Photovoltaic Solar Modules of Different Types and Designs for Energy Supply. *International Journal of Energy Optimization and Engineering*, Volume 9 Issue 2, 2020, pp. 74 – 94, DOI: 10.4018/IJEOE.2020040106.

15. Стребков Д.С., Майоров В.А., Панченко В.А., Осьмаков М.И., Плохих С.А. Солнечная установка с матричными фотоэлементами и концентратором. *Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность*, 2013, № 2, с. 50-52.

16. Стребков Д.С., Поляков В.И., Панченко В.А. Исследование высоковольтных солнечных кремниевых модулей. *Альтернативная энергетика и экология*, 2013, № 6-2 (128), с. 36-42.

17. Стребков Д.С., Поляков В.И., Арбузов Ю.Д., Панченко В.А. Высоковольтные солнечные модули третьего поколения. *Инновации в сельском хозяйстве*, № 3(8), 2014, с. 159 – 165.

18. Панченко В.А., Стребков Д.С., Поляков В.И., Арбузов Ю.Д. Высоковольтные солнечные модули с напряжением 1000 В. *Альтернативная энергетика и экология*, 2015, № 19 (183), с. 76 – 81.

19. Бекиров Э.А., Асанов М.М. Анализ систем водяного охлаждения фотоэлектрических панелей. *Строительство и техногенная безопасность*, 6(58), 2017, с. 55-59.

20. Асанов М.М., Бекиров Э.А., Воскресенская С.Н. Снижение влияния нагрева поверхности фотоэлемента на эффективность его работы. *Строительство и техногенная безопасность*, 51, 2014, с. 92-97.

21. Кувшинов В.В., Бекиров Э.А. Теплофотоэлектрическая установка для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии. *Строительство и техногенная безопасность*, 15(67), 2019, с. 141-148.

22. Бекиров Э.А., Каркач Д.В. Двумерная модель тепловых процессов в солнечном коллекторе и ее экспериментальная проверка. *Строительство и техногенная безопасность*, 10(62), 2018, с. 191-201.

23. Панченко В.А., Чирский С.П. Разработка и исследование солнечных теплофотоэлектрических модулей в системах автоматизированного проектирования и конечно-элементного анализа // *Строительство и техногенная безопасность*, №14(66), 2019, с. 57 – 72.

24. Панченко В.А. Моделирование теплофотоэлектрической кровельной панели для энергоснабжения объектов // *Строительство и техногенная безопасность*, №13 (65), 2018, с. 143 – 158.

25. Синицын С.А. Моделирование линейных погрешностей при конструировании поверхности концентратора солнечного модуля. *Научный электронный журнал Меридиан*, № 4 (38), 2020, с. 219-221.

26. Синицын С.А. Энтропийная погрешность при моделировании конструктивных форм

теплофотоэлектрических солнечных модулей. *Научный электронный журнал Меридиан*, № 3 (37), 2020, с. 438-440.

27. Синицын С.А. Информационная методика управления качеством поверхности солнечного концентратора, заданной дискретным множеством точек. *E-Scio*, № 1 (40), 2020, с. 421-427.

28. Синицын С.А., Стребков Д.С., Панченко В.А. Паркетирование поверхности параболического концентратора солнечного теплофотоэлектрического модуля по заданным дифференциально-геометрическим требованиям. *Геометрия и графика*, Т. 7, № 3, 2019, с. 15-27.

29. Стребков Д.С., Тверьянович Э.В. Концентраторы солнечного излучения – М, ГНУ ВИЭСХ, 2007, с. 12-30.

REFERENCES

1. Bekirov E.A., Asanov M.M., Alkaata A. Optimization of operating modes of power supply systems using renewable energy sources. *Construction and technogenic safety*, 13(65), 2018, 107-112.

2. Gapeeva N.A., Zhilenko O.B. Autonomous heat supply of high-rise buildings. *Construction and technogenic safety*, 10(62), 2018, 77-89.

3. Novikova O.V., Melnichenko A.S., Luchnikova A.D. Methodological approaches to energy supply using renewable energy sources at the objects of transport infrastructure of federal significance. *Construction and technogenic safety*, 12(64), 2018, 81-90.

4. Amerkhanov R.A., Bekirov E.A., Asanov M.M. Methods for optimizing the operation of a thermoelectric power station during joint generation with wind and solar power plants. *Construction and technogenic safety*, 14(66), 2019, 93-100.

5. Golikova A.A., Nagaeva Z.S. Passive house (eco house). *Construction and technogenic safety*, 14(66), 2019, 15-20.

6. Degtyarev K.S., Panchenko V.A. Development and completed solar energy projects in Russia. *Plumbing, heating, air conditioning*, No. 9, 2019, p. 74-79.

7. Panchenko V.A. Prospects for energy supply of the objects of the Arctic zone of the Russian Federation using frost-resistant solar modules of various designs. *Construction and technogenic safety*, 17(69), 2019, p. 69 - 88.

8. Soloviev A.K. Energy savings in building operations and passive solar systems. *Construction and technogenic safety*, 10(62), 2018, 179-191.

9. Murovsky S.P., Sokut L.D. Promising areas of modernization of solar power plants in the Republic of Crimea. *Construction and technogenic safety*, 15(67), 2019, 149-158.

10. Gvozdikova Yu. D., Gvozdikova I.A. Multicriteria environmental-oriented assessment of power plants based on photocells with various active layer materials. *Construction and technogenic safety*, 17(69), 2019, p. 89-102.

11. Panchenko V.A. Review and application of solar modules developed and manufactured by GNU VIESH. Vestnik VIESH, 2014, No. 4 (17), p. 20 - 29.
12. Strebkov D.S., Bobovnikov N.Yu., Irodionov A.E., Kirsanov A.I., Panchenko V.A., Filippchenkova N.S. The One Million Solar Roofs program in Russia. Vestnik VIESH, 2016, 3(24), 84-87.
13. Panchenko V. Photovoltaic solar modules for autonomous heat and power supply. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 317 (2019) 012002, 9 p. doi:10.1088/1755-1315/317/1/012002.
14. Panchenko V., Izmailov A., Kharchenko V., Lobachevskiy Y. Photovoltaic Solar Modules of Different Types and Designs for Energy Supply. International Journal of Energy Optimization and Engineering, Volume 9 Issue 2, 2020, pp. 74 – 94, DOI: 10.4018/IJEOE.2020040106.
15. Strebkov D.S., Mayorov V.A., Panchenko V.A., Osmakov M.I., Plohih S.A. Solar installation with matrix photocells and a concentrator. Electro. Electrical Engineering. Electric Power Industry. Electrical Engineering Industry, 2013, 2, 50-52.
16. Strebkov D.S., Polyakov V.I., Panchenko V.A. Study of high voltage solar silicon modules. Alternative Energy and Ecology, 2013, No. 6-2 (128), p. 36-42.
17. Strebkov D.S., Polyakov V.I., Arbuzov Yu.D., Panchenko V.A. High-voltage solar modules of the third generation. Innovations in Agriculture, No. 3 (8), 2014, p. 159 - 165.
18. Panchenko V.A., Strebkov D.S., Polyakov V.I., Arbuzov Yu.D. High-voltage solar modules with a voltage of 1000 V. Alternative Energy and Ecology, 2015, No. 19 (183), p. 76 - 81.
19. Bekirov E.A., Asanov M.M. Analysis of water cooling systems for photovoltaic panels. Construction and technogenic safety, 6(58), 2017, 55-59.
20. Asanov M.M., Bekirov E.A., Voskresenskaya S.N. Reducing the effect of heating the surface of the solar cell on its efficiency. Construction and technogenic safety, 51, 2014, 92-97.
21. Kuvshinov V.V., Bekirov E.A. Ptotovoltaic thermal installation for the combined generation of thermal and electrical energy. Construction and technogenic safety, 15(67), 2019, 141-148.
22. Bekirov E.A., Karkach D.V. Two-dimensional model of thermal processes in the solar collector and its experimental verification. Construction and technogenic safety, 10(62), 2018, 191-201.
23. Panchenko V.A., Chirsky S.P. Development and research of solar photovoltaic thermal modules in computer-aided design and finite element analysis systems. Construction and technogenic safety, 14(66), 2019, 57-72.
24. Panchenko V.A. Modeling of a photovoltaic roofing panel for power supply of objects. Construction and technogenic safety, 13(65), 2018, 143-158.
25. Sinitsyn S.A. Modeling linear errors in the design of the surface of the concentrator of the solar module. Scientific electronic journal Meridian, No. 4 (38), 2020, p. 219-221.
26. Sinitsyn S.A. Entropy error in modeling structural forms of photovoltaic thermal solar modules. Scientific electronic journal Meridian, No. 3 (37), 2020, p. 438-440.
27. Sinitsyn S.A. Informational technique for controlling the surface quality of a solar concentrator defined by a discrete set of points. E-Scio, No. 1 (40), 2020, p. 421-427.
28. Sinitsyn S.A., Strebkov D.S., Panchenko V.A. Surface parqueting for a parabolic concentrator of a solar photovoltaic thermal module according to specified differential geometric requirements. Geometry and Graphics, vol. 7, 3, 2019, 15-27.
29. Strebkov D.S., Tveryanovich E.V. Concentrators of solar radiation - M, GNU VIESH, 2007, p. 12-30.

PHOTOVOLTAIC THERMAL MODULE WITH CONCENTRATORS OF THE SOLAR RADIATION OF A PARABOLOID TYPE

Panchenko^{1,2} V.A.¹ Russian university of transport, Moscow, Obraztsova str., tu@miit.ru² Federal scientific agroengineering center VIM, 109428, Moscow, 1-st Institutsky proezd, 5, vim@vim.ru

Annotation. The article presents the results of the development and research of a solar photovoltaic thermal module with paraboloid-type solar radiation concentrators. The composition of the solar module includes a composite concentrator, which provides uniform illumination by concentrated solar radiation on the surface of a cylindrical photovoltaic thermal photodetector in the form of an aluminum radiator with photoelectric converters. The developed method for calculating the working profile of the concentrator makes it possible to provide the necessary distribution of illumination in its focal region. A thin heat-conducting dielectric layer is formed on the surface of the radiator using microarc oxidation, on which planar and matrix photoelectric converters are fixed. When exposed to concentrated solar radiation, the electrical efficiency of specially designed matrix photoelectric converters increases, and the heat taken by the heat carrier increases the overall efficiency of the solar module. To visualize the thermal state of the water-cooling radiator of photoelectric converters, a calculation procedure has been developed that is implemented in the Ansys finite element analysis software package and allows visualizing the thermal fields and coolant flows in the radiator. As a result of studies of the concentrator photovoltaic thermal module, an increase in the efficiency of matrix photoelectric converters with the simultaneous receipt of warm water at the outlet was obtained. Uniform illumination of photovoltaic converters with concentrated solar radiation provides an optimal mode of operation. The consumer can use the received electric and thermal energy in an autonomous or parallel power supply with the existing power grid.

Subject of research: the paraboloid type solar radiation concentrator providing uniform illumination by concentrated radiation on the surface of a photovoltaic thermal photodetector with silicon planar and matrix photoelectric converters, the heat removed from which is used by the consumer, thereby increasing the overall module efficiency.

Materials and methods: to create the design documentation for the solar module, the COMPASS 3D computer-aided design system was used; to simulate and visualize the thermal state of a water-cooled radiator with photoelectric converters, the ANSYS finite element analysis system was used; microarc oxidation technology was used to electrically isolate the surface of an aluminum radiator; for the manufacture of a solar module photodetector, encapsulation technology with a two-component polysiloxane compound was used; for field tests of the solar photovoltaic thermal module, a measuring system was used to record the electrical and temperature parameters of the module.

Results: as a result of the calculations and studies, the solar photovoltaic thermal module with paraboloid type solar concentrators with matrix photoelectric converters with uniform illumination on their surface is developed, manufactured and tested, their electrical efficiency increases, and with the help of the removed heat it becomes possible to increase the overall efficiency of the solar module.

Conclusions: methods have been developed that allow calculating the working profile of a paraboloid-type solar radiation concentrator that provides uniform illumination in the focal region, and visualizing using the finite element analysis system the thermal state and flow of the radiator coolant in focus of the concentrator. The electrical efficiency of matrix photoelectric converters increases in the concentrated solar stream due to the uniformity of illumination. The heat carrier, taking heat from the photoelectric converters, cools them, thereby increasing their electrical efficiency, and the heat obtained can be used by the consumer. Thus, not only the electrical efficiency of the module is increased, but also the thermal efficiency, which increases the overall efficiency of the module. The consumer can use the received electric and thermal energy from the solar photovoltaic thermal module in an autonomous or parallel power system.

Key words: solar energy, solar concentrator, photovoltaic thermal module, finite element analysis system, matrix photoelectric converters, current-voltage characteristic, efficiency, energy supply.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС АГРЕГАТНО-ТЕПЛОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕПЛОХОЛОДИЛЬНЫХ СИСТЕМ

Федосов С.В., Федосеев В.Н., Емелин В.А.

ФГБОУ ВО ИВГПУ
153000 г. Иваново, Шереметевский пр, 21

Аннотация: В выполненном исследовании показан результат сравнения технологических характеристик работы термодинамического процесса теплообмена замкнутой системы с окружающей средой воздушного теплового насоса (ВТН) мощностью 7 кВт, полученных экспериментальным путем и работы рециркуляционного воздушного теплового насоса (РВТН) той же мощностью при тех же параметрах, на основе термодинамического цикла, при температуре испарения $t_{исп.} = 10^{\circ}\text{C}$ и трёх температурах конденсации 30°C , 40°C , 50°C . Результат показал, что технологические характеристики теплонасосных систем практически совпадают.

Ключевые слова: энтропия, скрытая теплота парообразования, хладагент, компрессор, испаритель, тепломассообмен, тепловая насосная система

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях тенденции использования возобновляемых источников энергии для теплоснабжения зданий особую актуальность приобретают воздушные тепловые насосы (ВТН), принцип действия которых – отбор рассеянного тепла из окружающего воздуха и перенос в отопительный контур помещения. Работа воздушных тепловых насосов основана на принципах термодинамической активности неравновесных процессов. Рабочей жидкостью в тепловых насосах является хладагент (фреон), особенностью которого является способность закипать при низких температурах и переходить из жидкого состояния в газообразное и наоборот. Во время фазового перехода из жидкого состояния в газообразное (испарение) происходит поглощение теплоты, а во время фазового перехода из газообразного в жидкое (конденсация) происходит передача теплоты на тех же принципах термодинамической активности. Сегодня реализуются технологии, позволяющие с помощью «тепловых насосов» концентрировать и переносить рассеянную в окружающей среде тепловую энергию [2]. Это одна из систем топливно-сберегающих технологий, которая позволяет создавать экологически чистую энергетику. Существенным недостатком современных ВТН в наших умеренно холодных климатических условиях является низкий коэффициент эффективности, определяемый как коэффициент трансформации COP (англ. COP – сокр. от coefficient of performance). Современные усовершенствованные отопительные воздушные тепловые насосы работают сверхэффективно с коэффициентом преобразования, значения которого лежат в интервале 3,5 – 7 [11]. Тепловые насосы, работающие с коэффициентом преобразования от 2 до 2,5 и ниже, считаются мало (низко) эффективными. Такой режим работы, если в этом есть необходимость, допустим, лишь в течение

относительно небольшого отопительного сезонного промежутка времени. Таким образом, актуальной является разработка воздушных тепловых насосов с коэффициентом COP равным 3 – 7 [12].

Разрабатывая теоретические основы эффективных термодинамических процессов, протекающих в испарительно-конденсаторном блоке воздушного теплового насоса, используя возможности энергоинверсии на производительность воздушных теплонасосных систем, добиваемся при этом полной автономной работы и нивелирования климатических условий используя возобновляемые источники энергоресурсов.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

На сегодня воздушные тепловые насосы являются более распространёнными за рубежом в европейских странах. В Российской Федерации в зимнее время наружная отрицательная температура не позволяет достаточно эффективно работать традиционным воздушным тепловым насосам. Выходом из этой ситуации является совершенствование, модернизация системы отопления, а в отдельных случаях принимают решение при совместной работе воздушного теплового насоса и электрического котла. Отличие воздушного теплового насоса от разного вида топливных источников тепла состоит в том, что для работы, кроме электроэнергии для компрессора ему нужен также источник низкопотенциального тепла, т.е. энергия атмосферного воздуха, в то время как в традиционных источниках тепла вырабатываемое тепло зависит исключительно от теплотворной способности конкретного вида топлива. Теплонасосные установки давно доказали свою эффективность благодаря тому, что передают пользователю в 3 – 5 раз больше энергии, чем затрачивают сами на ее передачу. Кроме того, в тепловых насосах используются экологически чистые технологии практически без выбросов

вредных веществ в окружающую среду. Однако тепловой насос нельзя назвать на 100% потребляющим только возобновляемые источники энергии, всё-таки он потребляет электроэнергию на реализацию привода компрессора. Основным показателем энергоэффективности – это отношение теплопроизводительности к затраченной мощности (тепловой коэффициент для теплонасосных систем).

Теплопроизводительность, в большей степени, и потребляемая мощность, в меньшей степени, в теплонасосных системах зависят от условий эксплуатации, главным образом – от температуры окружающей среды и температуры в обслуживаемом помещении. Необходимость учёта реальных режимов работы и привела к появлению разного рода показателей энергетической эффективности. Температурный уровень теплоснабжения тепловыми насосами в настоящее время, учитывая энергоэффективность режима работы, варьируется от 35⁰С до 55⁰С, что позволяет использовать практически различную систему отопления.

Проведенный подробный анализ разработок теплонасосных установок для теплоснабжения зданий, (помещений) показал, что применение воздушных теплонасосных систем в условиях климата Центрального федерального округа реально и эффективно, о чём говорят полученные результаты [8,10,11,13].

Возможный диапазон энергоэффективного применения ВТН при проектировании малоэтажных зданий и строений с учётом ресурсосберегающих технологий, экспериментально и расчётным путём, доказал эффективность применения ВТН в умеренно-холодных районах РФ.

Результаты сравнительного анализа предлагаемых усовершенствованных режимов работы воздушных теплонасосных систем с рециркуляцией воздуха и рекуперацией отражены в авторских свидетельствах, полученных на полезную модель [19-21].

Преимуществом воздушных тепловых насосов является возможность переключения с режима отопления зимой на режим кондиционирования летом, подключая к внешнему коллектору фанкойлы.

При достижении экономия энергетических ресурсов до 70 % задача совершенствования испарительно-конденсаторного блока ВТН является крайне актуальной. Для её решения необходимо полноценно проанализировать термодинамический цикл и рамки его изменений, разработать систему нестационарного тепломассопереноса, раскрыть экспериментально - теоретическую суть самих неравновесных процессов.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель работы: Повышение энергоэффективности системы автономного, экологически чистого и экономически эффективного теплоснабжения зданий

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Известно, что при постоянной температуре, вещество может поглощать или выделять тепло путём изменения агрегатного состояния, а также иметь количественную оценку тепловых преобразований при изменении агрегатного состояния вещества [Джозеф Блэк, шотландский физик, в 1765г. ввёл понятие скрытой теплоты].

Это явление используется во всех тепловых машинах при получении тепла или холода. Обычная теплохолодильная машина использует явление поглощения тепла из окружающей среды во время перехода вещества из жидкого состояния в газообразное при постоянной температуре и давлении.

Возьмём хладагент, фреон, который находится в замкнутом контуре теплонасосной системы (ТНС) в процессе термодинамического цикла, где создаются условия для сбора испарившегося хладагента (фреона) и обратного его преобразования в жидкость, тогда этот процесс можно использовать для создания тепла или холода [2]. Схему такой термодинамической системы можно отобразить на рис. 1, а процесс, протекающий в этой системе в $P - V$ диаграмме на рис. 2.

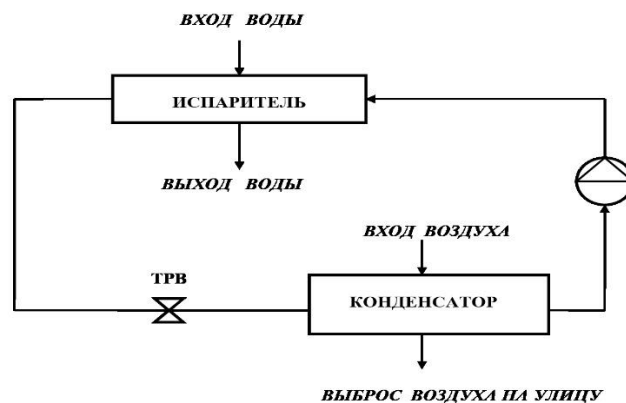


Рис.1 Блок-схема теплохолодильной насосной системы
Fig. 1 Block diagram of a heating and refrigeration pumping system

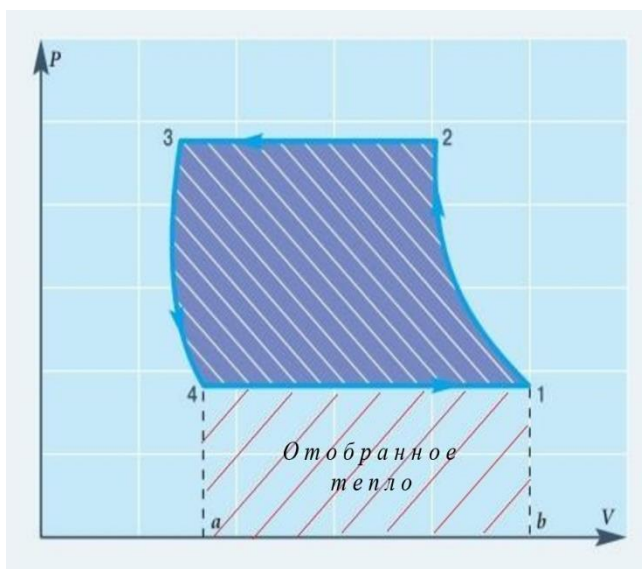


Рис. 2 Теплохолодильный цикл в $P - V$ координатах
Fig. 2 Heating and cooling cycle in $P - V$ coordinates

Регулируя давление устройством ТРВ (терморегулирующий вентиль → дроссель) можно управлять количественно процессом превращения хладагента в пар при требуемой температуре и давлении. Отобранное хладагентом тепло, направляясь по контуру теплонасосной системы, сжимают компрессором и направляют в теплообменник - конденсатор, где отдают его на отопление/охлаждение помещений. Согласно диаграмме рис. 2., кривая 1-2 – компрессор сжимает и превращает в пар, кривая 2-3 – конденсатор отдает тепло в работу, газ превращается в жидкий хладагент кривая 3-4. Получаем замкнутый цикл. Площадь $b-1-4-a$ – тепло, отобранное испарителем, $b-1-2-3-4-a$ – тепло, отданное конденсатором. Вся работа теплохолодильной машины идёт на выполнение термодинамического цикла →1-2-3-4.

По $P - V$ диаграмме теплохолодильного цикла можно определить производительность

теплохолодильной машины и затраченную энергию измеряя площадь между линиями процессов. Цикл с максимальным коэффициентом полезного действия (КПД) лучше определять по диаграмме «температура – энергия» ($T - S$ диаграмма) это точнее и проще.

Для количественной оценки обратимых процессов существует понятие «энтропия» [Клаузиус, 1865 г.], сущность которого характеризует направление протекания процесс «теплообмена» между системой и внешней средой. Следует напомнить, что воздушный тепловой насос, рассматривая как пример получения «механической энергии» через процесс сжатия в компрессоре в $P - V$ диаграмме можно представить, как элемент площади, равный $dW = p \cdot dv$.

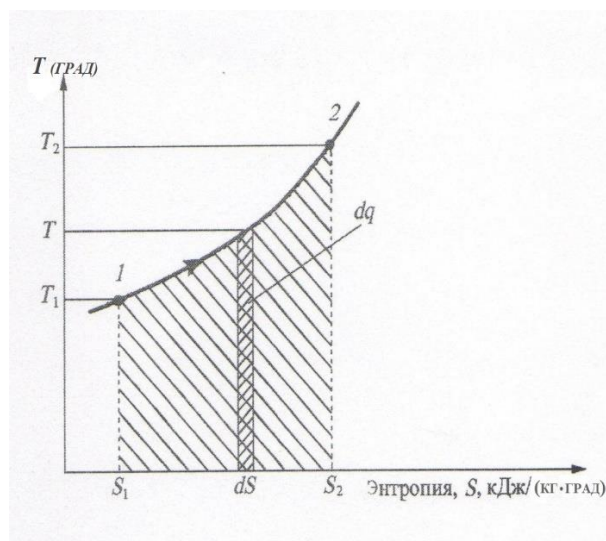


Рис. 3. Графическое представление элементарной энтропии
Fig. 3. Graphical representation of elementary entropy

По той же аналогии оценку тепловой энергии, согласно диаграмме $T-S$ можно определить, как $dq = T \cdot dS$

→ T , тогда энтропия будет $S = \int_{S_1}^{S_2} \frac{dq}{T}$, рис. 3.

Элементарное количество тепла (dq) есть произведение абсолютной температуры T на изменение состояния, называемого энтропией. В тепловых процессах важно изменение (прирост теплообмена) энтропии рабочего тела в процессе теплового цикла.

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_{S_0}^{S_2} \frac{dq}{T} - \int_{S_0}^{S_1} \frac{dq}{T} = \sum \frac{Q_{\text{поглощ./отдача}}}{T}$$

Где $Q_{\text{поглощ./отдача}}$ – поглощенная, отдаваемая энергия;

T – абсолютная температура при поглощении /отдачи.

На $T-S$ диаграмме идеальный цикл Карно отображается прямоугольником, рисунок 4.

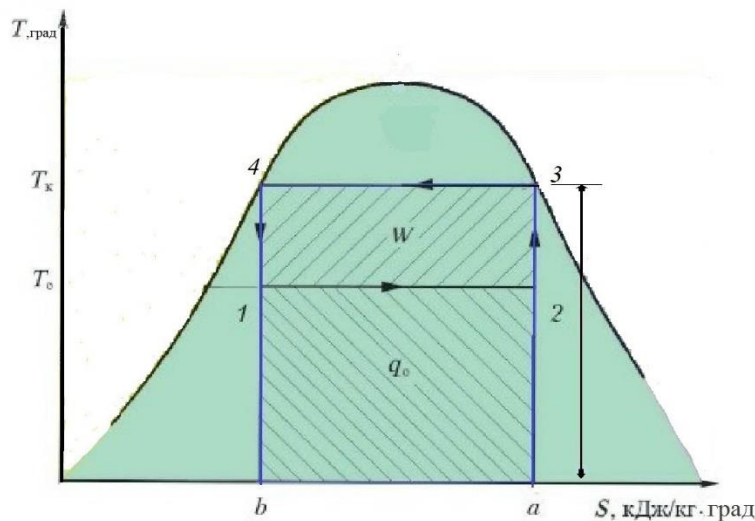


Рис. 4. Цикл Карно на $T-S$ диаграмме

Fig. 4. Carnot cycle on the T-S diagram

Энтропийное сжатие хладагента – прямая 2-3, изотермическая конденсация 3-4, адиабатическое расширение 4-1, изотермическое парообразование 1-2. Площадь прямоугольника, $a-3-4-b$ на диаграмме $T-S$, есть количество тепла отданного конденсатором (dq), что для теплонасосной системы является конечным итоговым результатом. Площадь прямоугольника, $a-2-1-b$ на диаграмме $T-S$, соответствует количеству тепла отбираемого хладагентом (q_0). Разность этих площадей 1-2-3-4 затраченная работа (W). Из $T-S$ диаграммы следует, что количество тепла, отданное конденсатором $q_k = q_0 + W$ есть отданное тепло в теплонасосную систему.

«Теплохолодильный коэффициент» или показатель энергоэффективности ε , есть отношение теплохолодопроизводительности к затраченной работе и равен:

$$\varepsilon = \frac{q_0^k}{W} = \left(\frac{T_k}{T_0 - T_k} \right)$$

Где T_0 - поглощает тепло; T_k - отдаёт тепло.

Тогда значения теплохолодильного коэффициента ε термодинамического цикла теплонасосной системы, в зависимости от температуры на испаритель, можно выразить через температуру конденсации 30°C, 40°C и 50°C, показанные на рисунке 5. при условии $t_{\text{исп}} = 10^\circ\text{C}$.

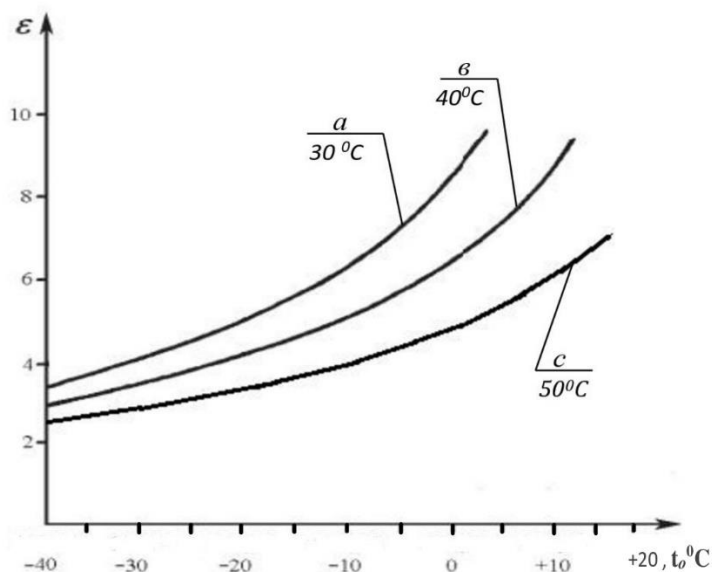


Рис. 5. Зависимость теплохолодильного коэффициента от температуры конденсации на выходе ТНС, $t_{\text{конд}} = 30^{\circ}\text{C}, 40^{\circ}\text{C}, 50^{\circ}\text{C}$

Fig. 5. Dependence of the heat-cooling coefficient on the condensation temperature at the outlet of the HPS, $t_{\text{cond}} = 30^{\circ}\text{C}, 40^{\circ}\text{C}, 50^{\circ}\text{C}$

Для подтверждения данных характеристик был проведён эксперимент в реальном режиме при следующих условиях.

Имеем строение $S=100\text{м}^2$, типовой ВТН, тепловая выходная мощность-7кВт (A20/W35), потребляемая электрическая мощность 1,75 кВт, COP - 4.

где A20/W35 → A – окружающий воздух, $t_{\text{окр.возд.}} = +20^{\circ}\text{C}$;

W – теплоноситель (вода) для тёплого пола, $t_{\text{тепл.пол.}} = 35^{\circ}\text{C}$.

$$COP = Q_{\text{тепл.эн.}} / P_{\text{затр. мощн.}}$$

COP – коэффициент эффективности.

Реальный COP или КПД будет отличаться от идеального на величину низкопотенциальной энергии воздуха. Поясним, имея в этом случае следующие соотношения:

$P_{\text{ВТН}} = 7\text{кВт/ч}$; $COP = 4$; $P_{\text{эл.дв.}} = 1,75\text{кВт/ч}$, тогда $P_{\text{ВТН}} - P_{\text{эл.дв.}} = 7\text{кВт/ч} - 1,75\text{кВт/ч} = 5,25\text{ кВт/ч} \rightarrow Q_{\text{тепл.эн.}} = 5,25\text{ кВт/ч}$

Q – низкопотенциальная тепловая энергия из воздуха, т.е.:

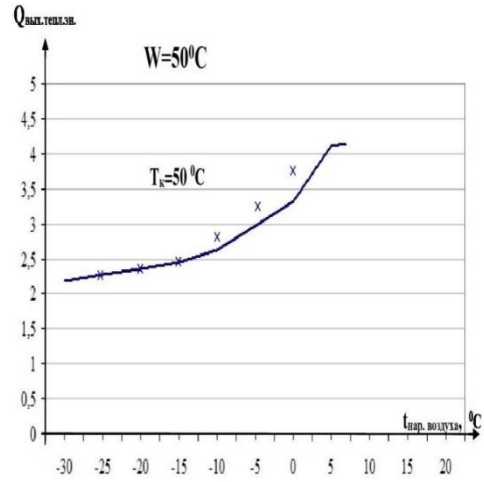
$$COP = Q_{\text{тепл.эн. на вых.}} / (P_{\text{двиг.}} + P_{\text{низкопот.эн.}})$$

Чисто физически – это процесс поглощения тепла из окружающей среды (воздуха) происходит за счёт использования явления перехода вещества из жидкого состояния в газообразное при обдувании испарителя при постоянной температуре и давлении, тем самым получая добавочную «даровую» энергию теплого воздуха.

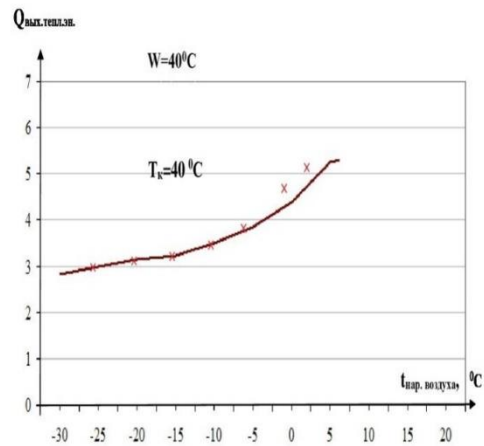
Таким образом, термодинамический процесс теплообмена замкнутой системы воздушного насоса с окружающей средой, учитывая затраты электрической энергии на компрессор, позволил получить экспериментальным путём технологические характеристики ВТН практически с такими же выходными данными.

РВТН – рециркуляционный воздушный тепловой насос с выходной тепловой мощностью (энергией) при температуре $t_{\text{конд}} = 50^{\circ}\text{C}, 40^{\circ}\text{C}, 30^{\circ}\text{C}$ для обогрева помещения, рисунок 6.

7 кВт	T на улице	t/п кВт/ч	Q _{выкл.тепл.энергии} кВт/ч-т/п	кВт/ч-э/к
РВТН W50	-30	10,8	2,1875	8,6125
	-25	9,8	2,275	7,525
	-20	8,8	2,3625	7,525
	-15	7,8	2,45	7,525
	-10	6,8	2,625	7,525
	-5	5,8	2,975	7,525
	0	4,8	3,325	-
	5	3,8	4,1125	-
	10	2,8	4,2	-
	15	1,8	4,2875	-
20	0,8	4,375	-	



7 кВт	T на улице	t/п кВт/ч	Q _{выкл.тепл.энергии} кВт/ч-т/п	кВт/ч-э/к
РВТН W40	-30	10,8	2,84375	7,95625
	-25	9,8	2,975	6,825
	-20	8,8	3,15	5,65
	-15	7,8	3,325	4,475
	-10	6,8	3,5	3,3
	-5	5,8	3,85	0,425
	0	4,8	4,375	-
	5	3,8	5,25	-
	10	2,8	5,425	-
	15	1,8	5,6	-
20	0,8	5,775	-	



7 кВт	T на улице	t/п кВт/ч	Q _{выкл.тепл.энергии} кВт/ч-т/п	кВт/ч-э/к
РВТН W30	-30	10,8	3,675	7,13
	-25	9,8	3,85	5,95
	-20	8,8	4,095	4,705
	-15	7,8	4,375	3,425
	-10	6,8	4,55	2,25
	-5	5,8	5,075	0,725
	0	4,8	5,775	-
	5	3,8	6,825	-
	10	2,8	7,0525	-
	15	1,8	-	-
20	0,8	-	-	

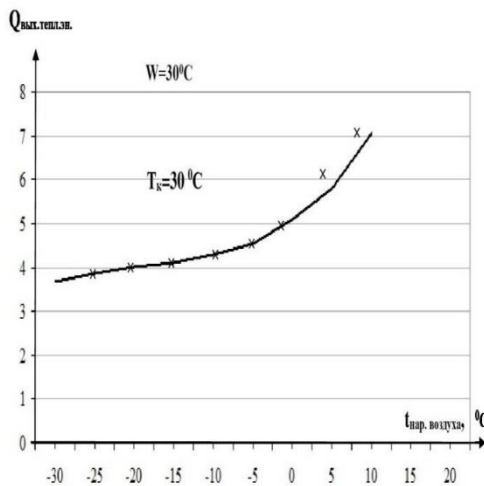


Рис. 6.
Fig: 6.

Полученные характеристики, рис. 7, не отличаются значительно от характеристик на рис. 5.

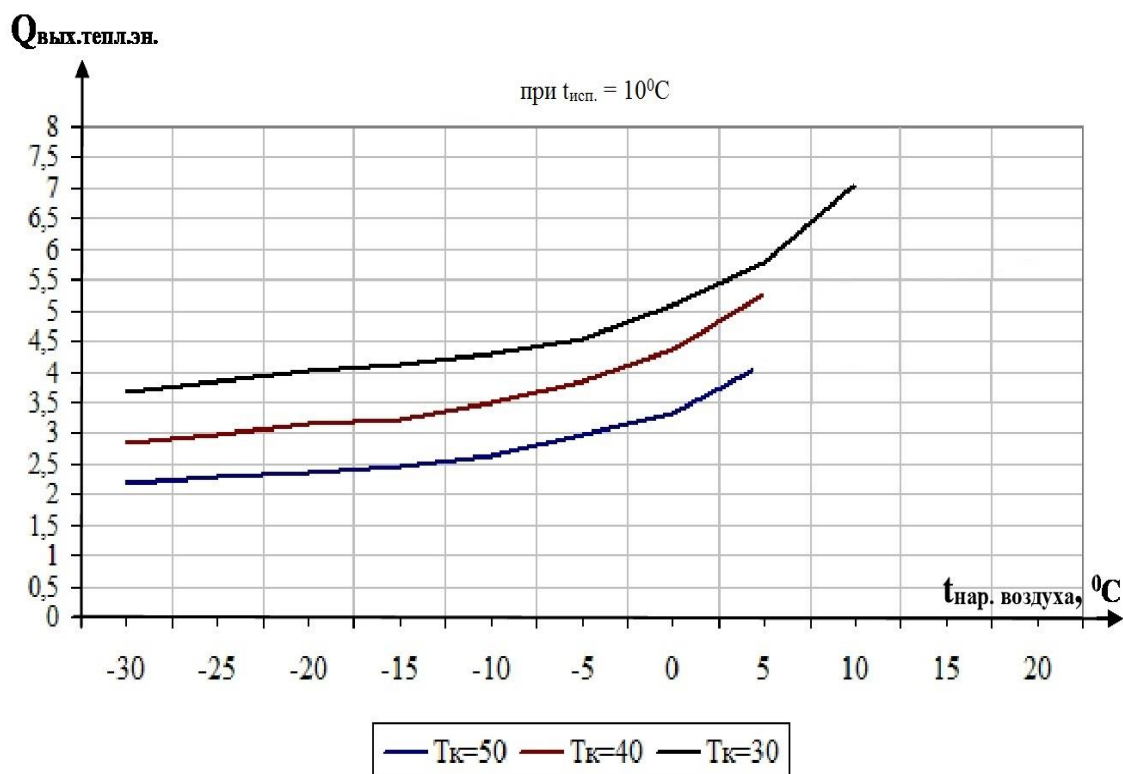


Рис. 7.

Fig: 6.

ВЫВОДЫ

1. Повысить эффективность воздушных тепловых насосов можно путём усложнения (модернизации) термодинамического цикла и соответственно тепловой схемы установки.
2. Возможен вариант промежуточного «нагрева – охлаждения» после дросселирования (процесс изотермического сжатия).
3. Как вариант впрыск в компрессор парообразного хладагента.
4. Использовать процесс двухступенчатого сжатия в компрессоре.
5. Разработать новые рабочие тела.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В дальнейшем предполагается провести теоретические исследования основ эффективных термодинамических процессов, протекающих в режиме фазового превращения скрытой теплоты парообразования в зависимости от температуры и давления, при которых происходит это фазовое превращение, с использованием метода математического моделирования процессов теплопереноса и метода анализа иерархий, как математического инструмента прогнозирования системного и необходимого подхода для анализа сложных проблем при поддержке принятия

управленческих решений. Применение этих методов позволит получить новые знания о процессах теплопереноса для воздушных теплонасосных систем и достичь требуемой цели исследования, а использование полученных результатов исследования позволит, совершенствуя испарительно-конденсаторный блок ВТН, повысить его энергоэффективность, что будет способствовать в дальнейшем решению актуальных научных вопросов и проблем.

Работа выполнена по заданию №13.11322.2018/11.12 по теме «Разработка технологии использования возобновляемой энергии изотермических рециркуляционных воздушных тепловых насосов со встроенными рекуператорами», выполняемой в рамках государственного задания на 2018 год.

ЛИТЕРАТУРА

1. Black J. Lectures on the Elements of Chemistry. Ed. By J. Robison. Vols. 1-Edinburg, 1803.
2. Ощепков П.К. «Жизнь и мечта», 4-е изд., доп. и испр., ил. - М.: Московский рабочий, 1984.- 320с.
3. Бармасов, А.В. Курс общей физики для природопользователей. Молекулярная физика и термодинамика /А.В.. Бармасов. – СПб.: ВНУ, 2012.- 512с.
4. Мирам, А.О. Техническая термодинамика. Теплообмен. Учебное издание /А.О. Мирам, в.В. Павленко. – М.: АСВ, 2016.- 352с.

5. Квасников, И.А.. Термодинамика и статистическая физика. Теория равновесных систем: Термодинамика / И.А. Квасников.- М.: КД Либроком, 2012-328с.
6. Квасников, И.А.. Термодинамика и статистическая физика. Теория неравновесных систем: / И.А. Квасников.- М.: УРСС, 2016 - 450 с.
7. Жмакин, Л.И. Теплообменные процессы и оборудование в легкой и текстильной промышленности.. Учебное пособие /Л.И. Жмакин.- М.: Инфра-М, 2018.-192с.
8. Воронов В.А., Емелин В.А., Федосеев В.Н., Зайцева И.А. Климатические условия и факторы, влияющие на производительность воздушного теплового насоса // *Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений*. Сборник научных трудов. - 2015. С. 241-251.
9. Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Емелин В.А., Воронов В.А., Зайцева И.А. Энергоэффективность рабочего тела (хладона) воздушного теплового насоса в режиме обогрева автономного текстильного цеха (производства) // *Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений*. Сборник научных трудов. Иваново, 2016. с.186-194.
10. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Алоян С.М., Зайцева И.А., Виноградова Н.В. Возможный диапазон работы воздушного теплового насоса в отопительный период // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. - 2017. № 4 (370). С. 278-281
11. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Виноградова Н.В., Ткачев В.М., Емелин В.А. Термодинамическая эффективность воздушных тепловых насосов, используемых в малоэтажных текстильных строениях // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2017. № 5 (371). С. 314-318.
12. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Зайцева И.А., Виноградова Н.В. Количественный анализ конфигурации коэффициента эффективности и тепловой мощности воздушного теплового насоса при отоплении малоэтажных текстильных строений // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2017. № 5 (371). С. 319-323.
13. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Зайцева И.А., Виноградова Н.В., Емелин В.А., Воронов В.А. Сравнительный анализ комбинированных режимов работы ВТН для малоэтажных строений в текстильной отрасли // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2017. № 5 (371). С. 324-328.
14. Федосеев В.Н., Зайцева И.А., Острякова Ю.Е., Целовальникова Н.В., Емелин В.А., Воронов В.А. Эффективное управление системой теплогенерации в автономных производственных помещениях // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2017. 4-4 (58). С.109-113.
15. Федосов С.В., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Мартынов И.А., Опарина Л.А. Тепловой насос как элемент энергосберегающей политики для энергоёмких предприятий текстильной и лёгкой промышленности // *Текстильная и легкая промышленность*. 2018. № 2. С. 10-12.
16. Федосов С.В., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Опарина Л.А. Некоторые вопросы конвертации рассеянного тепла окружающего воздуха, используемого для отопления автономных текстильных производств. // *Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений*. Сборник научных трудов. Иваново, 2018. С.112-118.
17. Федосов С.В., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Опарина Л.А., Мартынов И.А. Анализ условий при проектировании энергосберегающих теплонасосных систем для автономных текстильных производств // *Вестник Поволжского государственного технологического университета*. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2018. № 2. С. 84-91.
18. Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Опарина Л.А., Станкевич Е.Л. Возможности производства и реализации низкопотенциальной тепловой и электрической энергии с целью утилизации для малых текстильных производств // *Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений*. Сборник научных трудов. Иваново, 2018. С.118-124.
19. Патент РФ 174083. *Тепловой насос* / Федосеев В.Н., Емелин В.А., Воронов В.А., Острякова Ю.Е., Свиридов И.А.; Заявл. от 09.01.2017. Оpubл. 29.09.2017. Бюл. №28.
20. Патент РФ № 185689. *Средство для смешения газовых потоков* / Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Емелин В.А., Воронов В.А., Свиридов И.А.; Заявл. От 24.01. 2018, Оpubл. 13.12.2018. Бюл. № 35.
21. Патент РФ16603. *Теплообменник теплового насоса*/ Федосеев В.Н., Емелин В.А., Воронов В.А., Свиридов И.А.; Заявл. от 03.02.2016. Оpubл.10.11.2016. Бюл. № 31.

THE THERMODYNAMIC PROCESS OF AGGREGATE-THERMAL CONVERSION ТЕПЛОПOTЕРJAH SYSTEMS

Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Emelin V.A.
Ivanovo state Polytechnic University

Annotation: The performed study shows the result of comparing the technological characteristics of the thermodynamic process of heat exchange of a closed system with the environment of an air heat pump (VTN) with a power of 7 kW obtained experimentally and the work of a recirculation air heat pump (RVTN) with the same power at the same parameters, on the basis of a thermodynamic cycle, at the evaporation temperature of the 10⁰C and three condensation temperatures 30⁰C, 40⁰C, 50⁰C. The result showed that the technological characteristics of the heat pump systems are almost the same.

Key words: entropy, latent heat of vaporization, refrigerant, compressor, evaporator, heat and mass transfer, heat pump system

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ СОЛНЕЧНОЙ ГЕНЕРАЦИИ И НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Абдали Л. М.¹, Кувшинов В.В.¹, Бекиров Э.А.², Аль-Руфаи Ф. М.¹

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Институт ядерной
энергии и промышленности, г. Севастополь, РФ
laithm.abood@uokufa.edu.iq

²ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. Вернадского», Физико-технический институт, г. Симферополь,
РФ

Аннотация: При работе фотоэлектрических станций, обеспечивающих большие населенные районы планеты, и вырабатывающих значительное количество электрической энергии, часто возникают проблемы, связанные с непостоянством потока падающей солнечной радиации. Это приводит к сбоям в работе электрических сетей и быстрым износом оборудования. При оснащении таких объектов новыми системами управления и контроля фотовольтаических параметров можно значительно увеличить выработку электрической энергии, поставляемой в общую или локальную энергосистему, и улучшить эффективность работы электроустановок находящихся на солнечной электростанции. В предложенной работе представлен общий подход к моделированию и управлению работой фотоэлектрических систем (PV-систем). Необходимые данные для моделирования предоставляются производителями в виде таблиц. Обработка этих данных предоставляет экспериментаторам и инженерам удобный способ исследовать проблемы интеграции фотоэлектрических систем в установки бесперебойной генерации для обеспечения индивидуальных потребителей. Система двухступенчатого преобразования энергии (PCS-система), предложенная в этой статье, работает совместно с генерирующей фотовольтаической системой. Система накопления электрической энергии (BESS-система), использует аккумуляторные батареи и может быть подключена к цепи постоянного тока, посредством двунаправленного преобразователя. Таким образом, система BESS может предоставлять некоторые вспомогательные услуги, которые могут потребоваться в процессе генерации для повышения эффективности работы. В этой статье описана специальная система бесперебойной работы (FRT-система), позволяющая создавать возможности бесперебойной работы и выработки электрической энергии системой генерации, при некорректной работе отдельных узлов (например, при частичном затенении солнечных модулей). Работа интегрированной системы генерации, системы накопления электрической энергии (BESS-система) и фотовольтаической системы (PV-система) вместе с соответствующими системами управления моделируется на платформах Matlab, а эффективность работы контроллера подтверждается результатами моделирования. При внедрении предложенных систем на действующих и строящихся солнечных электрических станциях (СЭС) можно значительно улучшить эффективность их работы и увеличить выработку электрической энергии для потребителей.

Предмет исследования. Режимы работы интегрированной системы генерации совместно с системой накопления электрической энергии, фотовольтаической системой и системой бесперебойной работы.

Материалы и методы. Исследовательские методы компьютерного моделирования параметров управления интегрированной системой солнечной генерации и накопления энергии фотоэлектрическими преобразователями с использованием программной среды Matlab.

Результаты. В данной статье рассматривается фотовольтаическая система преобразования энергии, работающая совместно с системой накопления энергии. Работа системы управления для аккумулятора. Регулирующий преобразователь системы аккумуляирования энергии и инвертор, соединенный с сетью, предназначен для обеспечения возможности бесперебойной работы при неисправности.

Выводы. Проведено моделирование, которое подтвердило эффективность предложенных систем управления.

Ключевые слова: Мультиходовой преобразователь постоянного тока, PV-система, солнечное излучение, моделирование, MPP-система, фотоэлектрические элементы.

ВВЕДЕНИЕ

Ввиду растущей мировой обеспокоенности в отношении вопросов энергетической безопасности и контроля окружающей среды, использование возобновляемой энергии получило быстрое развитие и мировое признание в течение последних нескольких десятилетий. Среди возобновляемых источников, фотоэлектрическая генерация (PV) представляет одну из наиболее перспективных технологий. Это обуславливается высокой солнечной инсоляцией в различных регионах Земли, отсутствием движущихся частей в системе солнечной генерации, также PV-система, при установке фотоэлектрических модулей на крышах зданий, не требует линий электропередач, что объясняет низкие эксплуатационные расходы [1].

В 2010 году мощность установок по всему миру увеличилась до 14,2 ГВт, что означает удвоение мощности по сравнению с 2009 год. Такая же тенденция наблюдалась например, в США, к концу 2010 года накопленная установленная мощность по всей стране достигла 2,5 ГВт. Всего 2 года (с 2018 по 2019) понадобилось мировой солнечной энергетике, чтобы увеличить установленную мощность СЭС с 300 до 500 ГВт. Такие данные приводит Союз солнечной промышленности Германии.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Согласно прогнозам немецких специалистов, в 2020 году мировая солнечная энергетика «прибавит» еще 100 ГВт. Для сравнения, установленная мощность АЭС в мире составляет около 400 ГВт. Среди этих требований функции поддержки сети заключены в существующих стандартах присоединения, таких как IEEE 1547 или UL 1741, которые требуют, чтобы возобновляемая генерация была отключена от сети, когда возникают проблемы при передаче. Напряжение в точке присоединения (POI) не регулируется электростанцией на возобновляемой энергии [2]. Однако с повышением уровня возобновляемой генерации подключенные к сети солнечные системы изменяются от систем распределения к системам передачи, и стандарты обновляются (например, стандарт FERC 661 и 661A), чтобы обеспечивать выработку возобновляемой энергии подключенным к сети установкам, обеспечить вспомогательные возможности во время неисправности и после аварии. Эти вспомогательные возможности включают в себя возможность бесперебойной работы («обхода неисправностей»), возможность управления реактивной мощностью для регулирования напряжения или коэффициента мощности и системы SCADA. Система бесперебойной работы (FRT) в режиме работы солнечных энергетических систем была исследована в других работах [3].

Тем не менее, некоторые производители реализуют возможность системы бесперебойной работы (FRT), уменьшая выходную мощность генерации PV, в то же время максимизируя реактивную мощность (чтобы ограничить ток IGBT от превышения его проектного номинального значения), чтобы избежать падения напряжения во время повреждения. Это реализуется путем смещения рабочего напряжения фотоэлектрической панели от максимальной генерации точки питания (MPP). Этот процесс уменьшает выработку электроэнергии в течение времени повреждения и снижает эффективность фотоэлектрических установок. Это особенно важно для крупных, связанных с сетью солнечных электростанций, которые генерируют сотни мегаватт, где уменьшение выработки электроэнергии в переходных процессах станет настолько значительным, что им нельзя пренебрегать, как указано в [4]. Одним из возможных подходов к решению этой проблемы является использование выходной мощности солнечной электростанции для зарядки системы накопления энергии (BESS), в течение периода повреждений, без потери солнечной генерации PV, в то время как влияние тока при повреждении уменьшается или исключается. Предполагается, что модуль системы накопления энергии (BESS) установлен на шине постоянного тока силового инвертора, как показано на рис. 1 [5].

В существующих стандартах для схем соединений силовые инверторы немедленно отключаются от сети, когда напряжение падает до точки POI, например, из-за неисправностей в сети. Цель метода состоит в том, чтобы предотвратить влияние тока короткого замыкания на работу солнечной электростанции, что повышает эффективность работы системы. Поскольку мощность солнечной фотоэлектрической установки увеличивается выше 10 МВт, требования не соответствуют IEEE1547, и она считается обычной электростанцией. Если сокращение солнечной генерации не является предпочтительным, и солнечная электростанция все еще работает в условиях MPP, работа инверторов системы преобразования энергии (PCS) способствует току повреждения и, таким образом, ухудшает состояние напряжения в точке соединения POI [6]. С развертыванием BESS и надлежащим контролем, мощность, вырабатываемая солнечной электростанцией, может быть поставлена в сеть или систему BESS по мере необходимости. Разряжающий BESS действует как генератор, а заряжаемый BESS действует как активная нагрузка. Вклад тока короткого замыкания от солнечной электростанции может быть ограничен током солнечного инвертора, имеющего возможность управления током [7].

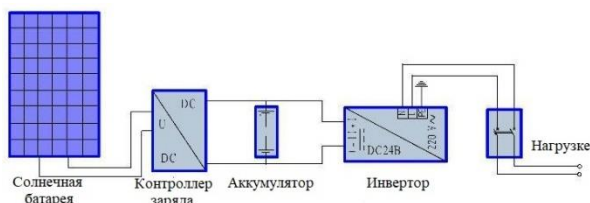


Рис. 1. Общая системная схема PV-системы с аккумуляторной системой накопления электрической энергии

Fig. 1. General system diagram of a PV-system with a battery storage system for electrical energy

Второе преимущество включения BESS в солнечную фотоэлектрическую установку состоит в том, что благодаря уменьшению реальной мощности, поступающей в сеть, емкость инвертора PCS со стороны энергосистемы может быть полностью использована для ввода реактивной мощности, чтобы поддержать восстановление напряжения в точке соединения POI во время и после сбоя. Третье преимущество системы накопления и хранения электроэнергии заключается в уменьшении выходных колебаний, вызванных изменением солнечного излучения во время прохождения облаков. Этот пункт рассмотрен в работе [8].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Описание системы

Система преобразования энергии (PCS) используется для солнечных электростанций и других типах возобновляемых источников энергии, подключенных к электрической сети, например ветроэлектрических станций. Системы PCS могут иметь различную архитектуру, например, одноступенчатую (только для инвертора, подключенного к сети) или двухступенчатую с системой преобразования энергии PCS (например, AC/DC преобразователь и инвертор с сетевым подключением). Последняя структура, как показано на рис. 1, более популярна и выбрана для сопряжения фотоэлектрической станции с сетью из-за дополнительной степени свободы, которую она может предоставить. В этой топологии функция AC/DC-преобразователя, подключенного к PV-системе, заключается в отслеживании MPP солнечной установки путем регулирования выходного напряжения фотоэлектрических модулей [9]. Преобразователь постоянного тока в переменный ток увеличивает выходное напряжение солнечного постоянного тока до уровня, превышающего значение напряжения точки POI, так что повышающий трансформатор может не потребоваться для инвертора источника напряжения при подаче электроэнергии в сеть. Этот метод был предложен в исследованиях без трансформаторных фотоэлектрических инверторов с использованием новых мощных электронных устройств с высокой мощностью. Предложенный

метод использует повышающий трансформатор, как показано на рис.2. В данной схеме используется инвертор с сетевым интерфейсом, который преобразует ток из постоянного в переменный и контролирует поступающую в сеть активную и реактивную мощности [10]. В системе преобразования энергии (PCS), описанной выше, система накопления и хранения электрической энергии (BESS) подключена к линии постоянного тока солнечной электростанции. Процессы зарядки и разрядки выполняются путем регулирования тока соответствующего преобразователя постоянного тока в системе BESS. Это может компенсировать прерывистость выходной мощности фотоэлектрической установки в нормальных условиях, то есть изменчивость солнечного излучения из-за проходящих облаков. Другие функции поддержки сети, такие как регулирование частоты, также могут быть предоставлены фотоэлектрической установкой с помощью аккумуляторной системы накопления энергии (BESS). В этих случаях BESS может передавать энергию, а также получать энергию от узла постоянного тока для зарядки, пока солнечная установка работает на MPP для достижения максимально возможной эффективности. Поэтому для системы BESS реализован двунаправленный преобразователь постоянного тока в переменный ток, как показано на рисунке 1. Основное внимание в этом процессе уделяется функции аккумуляторной системы хранения энергии (BESS) для сохранения солнечной энергии во время сбоя и, таким образом, инвертор, подключенный к сети, обеспечивает поддержку напряжения, что позволяет работать системе во время неисправности [11].

Моделирование солнечной электроэнергетики и системы хранения батареи

Основной этап в моделировании солнечной установки или электростанции – это анализ одного солнечного элемента, который может моделироваться с различными параметрами. В этом исследовании солнечный элемент по существу представлен эквивалентной электрической схемой. Схема состоит из источника энергии – входного фототока (I_{ph}), параллельного диода, шунтирующего сопротивления (R_p правило, им можно пренебречь) и последовательного сопротивления R_s , как показано на рис. 2, где I_d - ток диода, а I_{PV} и V_{PV} - выходной ток и напряжение клеммы солнечного элемента соответственно [12].

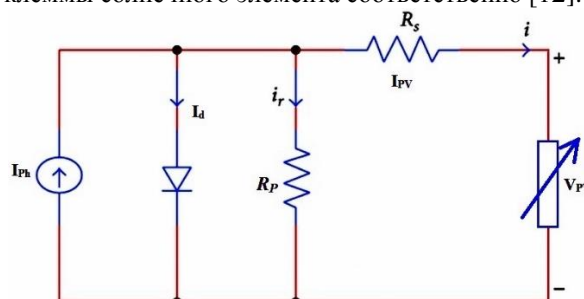


Рис. 2. Эквивалентная электрическая схема солнечного элемента.

Fig. 2. Equivalent electrical circuit of a solar cell.

На рис. 2 для заданной температуры элемента (Т) и интенсивности излучения (G) выходной ток солнечного элемента может быть выражен в виде:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - \frac{V_{pv} + I_{pv} \times R_s}{R_p} \quad (1)$$

где I_{ph} , I_d и R_s могут быть рассчитаны по формуле:

$$I_{ph} \quad T, G = \frac{G}{G_{ref}} I_{sc, ref} [1 + a(T - T_{ref})] \quad (2)$$

$$I_d \quad T, G = \frac{I_{sc, ref}}{qV_{oc, ref}} \frac{e^{\frac{qV_{oc, ref}}{nkT_{ref}} - 1}}{e^{\frac{qE_g}{nk} \times (\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T})}} \times (e^{\frac{qV_{pv} + I_{pv} \times R_s}{nkT} - 1}) \quad (3)$$

$$R_s = \frac{nkT_{ref}}{qI_{m, ref}} \ln \left[e^{\frac{qV_{oc, ref}}{nkT_{ref}}} - \frac{I_m}{I_{sc, ref}} \left(e^{\frac{qV_{oc, ref}}{nkT_{ref}}} - 1 \right) \right] - \frac{V_{m, ref}}{I_{m, ref}} \quad (4)$$

Константы и переменные величины в (2)-(4) задаются следующим образом. $G_{ref} = 1000 \text{ Вт/м}^2$, $T_{ref} = 298\text{К}$, $V_{oc, ref}$, $I_{sc, ref}$, $V_{m, ref}$ и $I_{m, ref}$ - это освещенность, температура панели, напряжение разомкнутой цепи, ток короткого замыкания, напряжение MPP панели и ток на MPP при стандартных условиях [13], α - температурный коэффициент тока короткого замыкания; коэффициент $q = 1,602 \times 10^{-19} \text{ С}$ - постоянная Кулона, коэффициент $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ Дж/К}$ - постоянная Больцмана. n - коэффициент идеальности диода, который находится между 1-2.

Аккумулирующая система накопления энергии

В этом исследовании модель источника напряжения – резистора, как показано на рис. 3, выбрана, так чтобы избежать детальных расчетов внутренних электрохимических процессов. Тем не менее, внутренние резисторы работают по-разному в процессе зарядки и разрядки, как описано в предложенной модели.

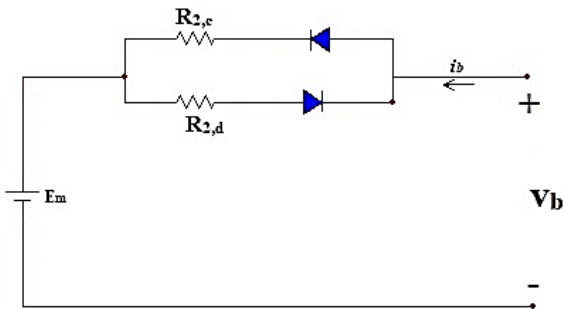


Рис. 3. Эквивалентная схема свинцово-кислотного аккумулятора.

Fig. 3. Equivalent circuit of a lead-acid battery.

В этой модели E_m является напряжением и обозначает внутреннюю батарею $e_{m,f}$, которая работает в режиме холостого хода. Внутреннее сопротивление R_2 имеет два компонента, $R_{2,c}$ и $R_{2,d}$, которые способствуют потере мощности внутри аккумуляторных блоков в условиях зарядки и разрядки соответственно. Ток зарядки-разрядки обозначен как I_b , а напряжение на клеммах V_b . На рис.3 положительные значения I_b обозначают зарядные и отрицательные значения для разрядных токов. Обратите внимание, что в этой модели $e_{m,f}$, E_m и электрические параметры $R_{2,c}$ и $R_{2,d}$ являются функциями состояния заряда (SOC) батареи и температуры ее работы, T_{temp} . Поэтому E_m , $R_{2,c}$ и $R_{2,d}$ в этом исследовании индексируются с помощью SOC и T_{temp} через двумерную справочную таблицу [14]. SOC рассчитывается по следующему уравнению:

$$SOC = \frac{Used \quad Ah \quad Capacity}{Max \quad Ah \quad Capacity} \quad (5)$$

где используемая емкость $A \cdot ч$ рассчитывается по формуле :

$$Capacity \quad (\text{ёмкость}) = \begin{cases} Q_e(t_0) + \int_0^t \eta_{coulomb} i_b(t) dt, & \text{for } i_b(t) \geq 0 \text{ chg.} \\ Q_e(t_0) + \int_0^t i_b(t) dt, & \text{for } i_b(t) < 0 \text{ dischg.} \end{cases} \quad (6)$$

где $Q_e(t_0)$ - начальная емкость в начальный момент зарядки-разрядки, а $\eta_{кулонов}$ - кулоновская эффективность.

Контроллер для фотоэлектрического преобразователя постоянного тока

Однонаправленный повышающий преобразователь был выбран для преобразования мощности, потребляемой фотоэлектрической панелью при низком уровне напряжения, в более высокий уровень. Таким образом, чтобы можно было использовать низковольтную фотоэлектрическую систему и снизить стоимость преобразовательной системы. В системе управления, показанной на рис.4, внешний контур напряжения регулирует выходное напряжение PV-системы для отслеживания MPP с помощью компенсатора PI, а внутренний контур тока регулирует ток индуктора для уменьшения высокочастотных гармоник, возникающих в индукторе.

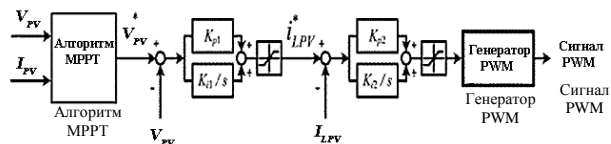


Рис. 4. Система управления повышающим фотоэлектрическим преобразователем

Fig. 4. Boost photoelectric converter control system

Отмечено, что алгоритм MPPT, используемый в этой работе, является модифицированным алгоритмом, который может улучшить эффективность преобразования системы генерации PV. Этот алгоритм реализован и связан с PSCAD с использованием языка, предоставляемого EMTDC.

Более подробное описание этого алгоритма приведено в работе [15].

Контроллер для преобразователя BESS AC/DC

При интеграции BESS с фотоэлектрической системой, система аккумулирования может заряжать или разряжать, чтобы использовать или освобождать питание для узла постоянного тока. Следовательно, поток энергии может поступать и выходить из аккумуляторной системы накопления энергии, и для BESS требуется двунаправленный преобразователь переменного тока в постоянный. Для реализации работы, описанной выше схемы работы преобразователя постоянного тока, схема его системы управления приведена на рис.5. Внутренний контур регулирует ток от аккумуляторной системы накопления энергии и отслеживает параметры заданной команды (I_b^*). Внешний контур напряжения регулирует напряжение узла постоянного тока для опорного значения и генерирует ток для внутреннего контура опорного сигнала, I_b^* .

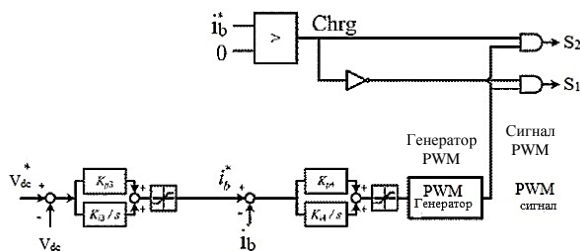


Рис. 5. Система управления двунаправленным преобразователем аккумуляторная система накопления энергии (BESS)

Fig. 5. Bidirectional converter control system battery energy storage system (BESS)

Для улучшения динамических характеристик внутреннего цикла используется следующая схема в зависимости от оценки направления I_b^* , значение C_{hrj} . Состояние деактивации работы S_1 и S_2 будет определяться значением C_{hrj} вместо сравнения напряжения постоянного тока с его опорным значением. Этот подход позволяет избежать частых переходов направлений потока энергии и переключений в схеме назад и вперед между параметрами «вкл.» и «выкл.». Это может способствовать улучшению динамических характеристик контроллера, особенно при переходе от состояния зарядки к разрядке или наоборот [16].

Контроллер для FRT-системы солнечной генерации с интегрированной энергосистемой

Электрическая конфигурация со связанной схемой управления инвертором связи сети показана на рис.6.

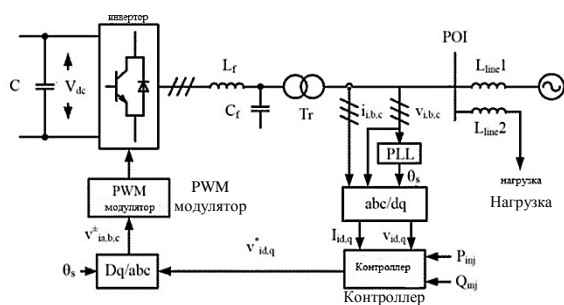


Рис.6. Инверторная схема сеть-инвертор.
Fig. 6. Inverter network-inverter circuit.

Основная концепция управления D-D, чтобы выполнить преобразование опорного импульса из неподвижной системы координат (a-b-c-координата) опорный импульс, который синхронно работает с d-q импульсом, то есть, Dq/abc преобразование. После преобразования реальная и реактивная мощности инвертора могут управляться отдельно, регулируя включение тока по оси d и по оси q в сети, соответственно, как показано в (7),

$$\begin{cases} P_{inj} = 3/2 I_{id} * V_{id} \\ Q_{inj} = -3/2 I_{id} * V_{id} \end{cases} \quad (7)$$

На основе этой связанной системы отсчета d-q-система управления для инвертора, подключенного к сети, может состоять из двух каскадных контуров [17].

Такой управляемый модуль аккумуляторной система хранения энергии (BESS) может обеспечить возможность работы системы бесперебойной работы (FRT-системы) используемой для бесперебойной работы фотоэлектрической системы. Также он повышает эффективность системы генерирования электроэнергии, поскольку накопленная энергия может быть надлежащим образом поставлена в сеть после аварийного сбоя [18].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Система генерации PV-BESS, показанная на рис. 1, с соответствующими системами управления, как описано в разделе II, была смоделирована на платформе PSCAD/EMTDC. Некоторые технические характеристики системы описаны ниже.

В этой моделируемой системе, фотоэлектрическая батарея мощностью 1 МВт, состоит из последовательно соединенных и параллельно подключенных фотоэлектрических панелей от BP Solar. Из таблицы данных BP 3225T можно обнаружить, что номинальное напряжение панели при стандартных условиях составляет 29,1В.

Мощность аккумуляторной системы хранения энергии (BESS) также была определена как 1 МВт. Согласно спецификациям, Hawker Genesis 12V26Ah10EP, номинальное значение элемента батареи составляет 12 В. При номинальном напряжении 600В аккумуляторной системе

накопления энергии (BESS) требуется 50 элементов, соединенных последовательно для каждой цепи. Емкость элемента батареи составляет $C5 = 0,052 \text{ A}\cdot\text{ч}$ (или $0,055/5 \text{ A}\cdot\text{ч}$ на элемент). Поэтому число параллельно соединенных строк в аккумуляторной системе хранения энергии (BESS) может быть вычислено как $1\text{M} / (50 * 12 * 0,052 / 5 * 3600) = 44,5$ с энергетической мощностью 1 МВт-секунд. Активная локальная нагрузка 10 МВт также включена в сеть и подключена к POI через другую 7-километровую воздушную линию, Line2. Константы PI, выбранные для контроллеров в системе, перечислены в таблице I.

Таблица 1. Константы, используемые при моделировании

Table 1. Constants used in modeling

K_{p1}	K_{i1}	K_{p2}	K_{i2}	K_{p3}	K_{i3}	K_{p4}	K_{i4}
4e-6	4e-6	4e-6	4e-6	4e-6	4e-6	4e-6	4e-6
K_{p5}	K_{i5}	K_{p6}	K_{i6}	K_{p7}	K_{i7}		
0.2	0.01	10	0.1	10	0.4		

В первом случае выполняется моделирование, чтобы исследовать производительность системы во время отказа. Если установка не оснащена системой бесперебойной работы (FRT-система) то инвертор PV-системы не работает, что означает, что генерация PV отключается сразу после возникновения сбоя.

Наблюдение за верхней траекторией на рис.7 показывает, что напряжение в точке соединения (POI) падает с 1,0 до 0,7 его первоначального значения во время возникновения неисправности. Подача активной и реактивной мощности в сеть показаны на двух нижних графиках на рис.7, соответственно, которые уменьшаются до нуля из-за отключения фотоэлектрической системы от сети. Это разъединение вызывает процесс восстановления после того, как время сбоя длится дольше, чем в случае с возможностью использования системы бесперебойной работы (FRT), как будет показано на рис. 9, что является более благоприятным с точки зрения работы системы.

Производительность аккумуляторной системы накопления (хранения) энергии (BESS) во время этого события показана на рис. 8, из которого можно обнаружить, что изменения напряжения, тока и мощности аккумуляторной системы хранения энергии (BESS) в течение времени повреждения более не эффективны по сравнению со случаем, показанным на рис. 11, это касается особенно напряжение постоянного тока.

Как можно видеть на рис. 9, величина напряжения точка соединения (POI) падает до 0,8 пунктов, что выше, чем приведенное на рис. 7. Это обусловлено тем, что в этом случае генерация PV-системы может обеспечивать поддержку напряжения. Выработка активной мощности

уменьшается соответственно, и фактическая реальная мощность, поставляемая в сеть, может идеально отслеживать его опорное значение, уменьшаясь с 2 МВт до 1,6 МВт. Это гарантирует, что ограничение тока IGBT в преобразователе не нарушается. Однако эффективность поддержки напряжения, обеспечиваемой фотоэлектрической системой во время повреждения, можно наблюдать на рис. 9, сравнивая результаты, приведенные в верхнем графике на рис. 7.

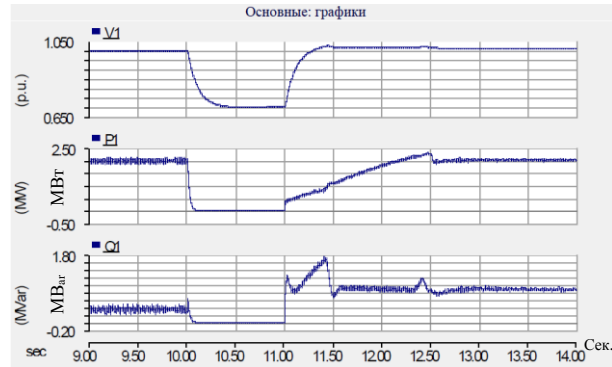


Рис.7. Результаты моделирования величины напряжения POI и активной и реактивной мощности в POI (без FRT).
Fig. 7. Results of simulation of voltage value POI and active and reactive power in POI (without FRT).

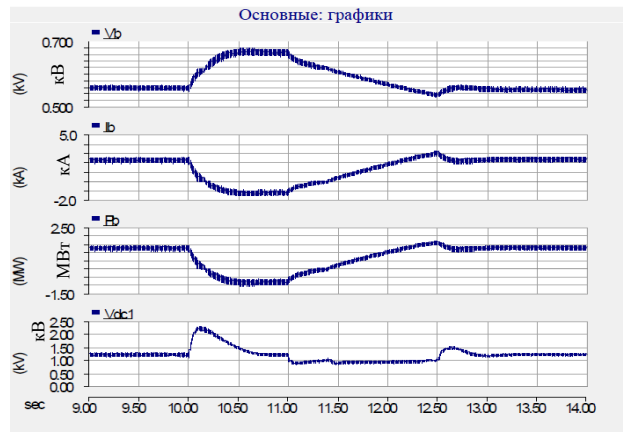


Рис.8. Результаты моделирования BESS-системы (без FRT-системы).
Fig. 8. Results of modeling a BESS-system (without FRT-system).

Результаты моделирования модуля PV приведены на рис. 10. При моделировании предполагается, что интенсивность излучения в течение моделируемого периода составляет $1000 \text{ Вт}/\text{м}^2$, а модуль PV-системы управляется так, чтобы он всегда работал на MPP. Поэтому напряжение фотоэлектрической батареи поддерживается на уровне 600В с помощью алгоритма MPPT. Общий выходной ток составляет 1,66кВ, а мощность, генерируемая фотоэлектрической батареей, составляет 1 МВт.

На рис. 11 показаны результаты моделирования аккумуляторной системы хранения энергии (BESS)

за этот период времени. По нижней графике можно обнаружить, что напряжение на звене постоянного тока всегда поддерживается около его эталонного значения 1,2кВ. При нормальных условиях напряжение на клемме BESS составляет 0,555 кВ, а ток разряда - 2,25 кА. Выработка электроэнергии от BESS составляет 1,25МВт. Сравнивая результат ввода мощности в нормальном состоянии, центральный график на рис. 9, можно увидеть, что после возникновения неисправности активная мощность, подаваемая в сеть, уменьшается с 2 МВт до 1,6 МВт. Притом, что фотоэлектрическая батарея все еще работает на MPP, генерируя мощность 1 МВт (нижний график на рис. 10) и что выходная мощность аккумуляторной системы накопления энергии (BESS) снижается до 1,1 МВт (третий график на рис. 11). Два верхних графика показывают напряжение и ток модуля аккумуляторной системы хранения энергии (BESS) соответственно.

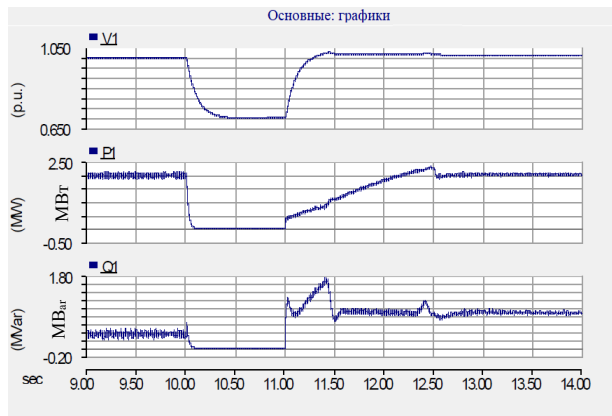


Рис.9. Результаты моделирования величины напряжения POI и активной и реактивной мощности в POI (с FRT-системой).

Fig. 9. Results of simulation of voltage value POI and active and reactive power in POI (with FRT-system).

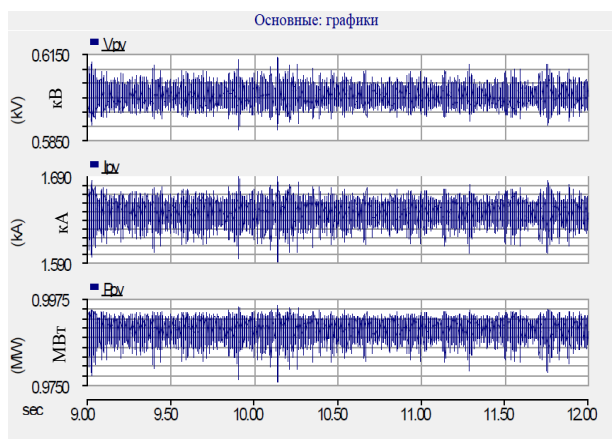


Рис.10. Результаты моделирования массива PV (с FRT).

Fig. 10. PV array simulation results (with FRT).

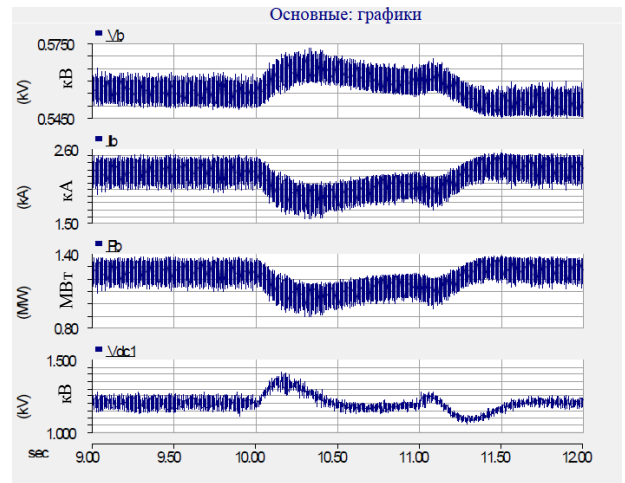


Рис.11. Результаты моделирования BESS (с FRT-системой)

Fig. 11. BESS simulation results (with FRT system)

ВЫВОДЫ

Системы управления для регулирующего преобразователя аккумуляторной системы накопления энергии (BESS) и преобразователя, подключенного к сети, спроектированы с учетом возможностей FRT-системы.

Благодаря предложенной схеме системы бесперебойной работы (FRT), аккумуляторная система накопления энергии BESS сохраняет энергию, генерируемую фотоэлектрической установкой, что позволяет ей продолжать работать в условиях MPP в течение всего времени неисправности. В то же время резервная мощность инвертора со стороны сети может быть использована для поддержки работы системы, обеспечивая дополнительный ввод реактивной мощности в сеть до ее максимальной токовой способности переключателей питания, если это необходимо.

Таким образом, фотоэлектрическая установка может сыграть свою роль, помогая системе плавно восстанавливаться после сбоев и поддерживать стабильность сети во время повреждения и в период восстановления после сбоя.

Проведенное в ходе работы моделирование, подтвердило эффективность предложенных систем управления.

Термин

система преобразования энергии	(PCS)
аккумуляторная система накопления (хранения) энергии	(BESS)
система бесперебойной работы	(FRT)
точка соединения	(POI)
точка максимальной мощности	(MPP)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абд Али, Лаит Мохаммед А., Ф. М. Аль-Руфайи, Б.А. Якимович, В.В. Кувшинов. Анализ производительности гибридных фото-ветроэлектрических установок. Энергетические установки и технологии. 2019. Т. 5, № 2. С. 61–68.

2. Абд Али, Лаит Мохаммед, Хайдер Абдулсахиб Исса. Using tidal energy as a clean energy source to generate electricity // Молодой ученый. 2018. № 11. С. 62–69.

3. Abd Ali L.M. and Issa H.A. Hybrid power generation using solar and wind energy. *Molod. Uchen.*, 2018, no. 7, pp. 19–26.

4. Абд Али Лаит Мохаммед, Хайдер Абдулсахиб Исса. Разработка элементов Smart Grid для оптимизации режимов районных сетей // Молодой ученый. 2014. № 8. С. 117–120.

5. Kuvshinov V.V., Abd Ali L.M., Kakushina E.G. Studies of the PV Array Characteristics with Changing Array Surface Irradiance. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 223–228.

<https://doi.org/10.3103/S0003701X19040054>.

6. Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A. Lyamina, N.V. Some Results of a Study of Wave Energy Converters at Sevastopol State University. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 256–259.

<https://doi.org/10.3103/S0003701X19040029>.

7. Vologdin S.V., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Analysis of Various Energy Supply Scenarios of Crimea with Allowance for Operating Modes of Solar Power Plants. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 229–234.

<https://doi.org/10.3103/S0003701X1904008X>.

8. Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A., Abd Ali L.M. An Offshore Wind-Power-Based Water Desalination Complex as a Response to an Emergency in Water Supply to Northern Crimea. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 260–264.

<https://doi.org/10.3103/S0003701X19040030>.

9. Guryev V.V., Yakimovich B.A., Abd Ali L.M. Improvement of Methods for Predicting the Generation Capacity of Solar Power Plants: the Case of the Power Systems in the Republic of Crimea and City of Sevastopol. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 242–246. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19040042>.

10. Ahmed Mohammed H., Anssari M.O.H., Abd Ali L.M. Electricity generation by using a hybrid system (photovoltaic and fuel cell). *J. Eng. Appl. Sci.*, 2019, no. 14, pp. 4414–4418.

doi.org/10.3923/jeasci.2019.4414.4418.

11. Layth Mohammed Abd Ali, Haider Ahmed Mohammed and Husam Abdulhusein Wahhab. A Novel Design of 7-Level Diode Clamped Inverter. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2019, no. 14, pp. 3666–3673. doi.org/10.36478/jeasci.2019.3666.3673.

12. Kuvshinov V.V., Kolomiychenko V.P., Kakushkina E.G. Storage System for Solar Plants. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 3, pp. 153–158. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19030046>.

13. Abdali A.L.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. HYBRID POWER GENERATION BY USING SOLAR AND WIND ENERGY. *Energy*, 2, 3.

14. Abd Ali Layth & Al-Rufae Faez. Simulation of a Model Photovoltaic power system to generate electricity. 2019, pp. 234–240.

15. Abd Ali L.M., Ahmed Mohammed H., Anssari M.O.H. Modeling and simulation of tidal energy. *J. Eng. Appl. Sci.*, 2019, no. 14, pp. 3698–3706. doi.org/10.3923/jeasci.2019.3698.3706.

16. Абдали, Л. М. А., & Кувшинов, В. В. генерация электрической энергии гибридной силовой установкой. In научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов, 2019, pp. 66–73.

17. Daus, Y.V., Kharchenko, V.V., Yudaev, I.V. Managing Spatial Orientation of Photovoltaic Module to Obtain the Maximum of Electric Power Generation at Preset Point of Time. *Appl. Sol. Energy*. 2018, Vol. 54, no. 6, Pp. 400–405.

18. Pavel Nikolaevich Kuznetsov, Layth Mohammed Abd Ali, Vladimir Vladislavovich Kuvshinov Hayder Abdulsahib Issa, Hayder Jasim Mohammed, Ali Ghanim Al-bairmani. Investigation of the losses of photovoltaic solar systems during operation under partial shading. *Journal of Applied Engineering Science*, 2020, vol. 18, no. 3, pp. 194–202. [doi:10.5937/jaes18-24460](https://doi.org/10.5937/jaes18-24460).

REFERENCES

1. AbdAli Laith Mohammed A., Al-Rufae F.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. [Performance Analysis of Hybrid Photo-Wind Turbines]. *Energeticheskiye ustanovki i tekhnologii*, 2019, vol. 5, no. 2, pp. 61–68 (in Russ.).

2. Abd Ali Laith Mohammed, Khayder Abdulsakhib Issa. [Using tidal energy as a clean energy source to generate electricity]. *Molodoy uchenyy*, 2018, no. 11, pp. 62–69.

3. Abd Ali L.M. and Issa H.A. Hybrid power generation using solar and wind energy. *Molodoy uchenyy*, 2018, no. 7, pp. 19–26.

4. Abd Ali Laith Mokhammed, Khayder Abdulsakhib Issa. [Development of Smart Grid elements for optimizing regional network modes]. *Molodoy uchenyy*, 2014, vol. 8, pp. 117–120 (in Russ.).

5. Kuvshinov V.V., Abd Ali L.M., Kakushina E.G. Studies of the PV Array Characteristics with Changing Array Surface Irradiance. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 223–228.

<https://doi.org/10.3103/S0003701X19040054>.

6. Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A. Lyamina, N.V. Some Results of a Study of Wave Energy Converters at Sevastopol State University. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 256–259.

<https://doi.org/10.3103/S0003701X19040029>.

7. Vologdin S.V., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Analysis of Various Energy Supply Scenarios of Crimea with Allowance for Operating Modes of Solar Power Plants. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4,

- pp. 229-234.
<https://doi.org/10.3103/S0003701X1904008X>.
8. Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A., Abd Ali L.M. An Offshore Wind-Power-Based Water Desalination Complex as a Response to an Emergency in Water Supply to Northern Crimea. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 260-264.
<https://doi.org/10.3103/S0003701X19040030>.
9. Guryev V.V., Yakimovich B.A., Abd Ali L.M. Improvement of Methods for Predicting the Generation Capacity of Solar Power Plants: the Case of the Power Systems in the Republic of Crimea and City of Sevastopol. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 242-246. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19040042>.
10. Ahmed Mohammed H., Anssari M.O.H., Abd Ali L.M. Electricity generation by using a hybrid system (photovoltaic and fuel cell). *J. Eng. Appl. Sci.*, 2019, no. 14, pp. 4414-4418.
doi.org/10.3923/jeasci.2019.4414.4418.
11. Layth Mohammed Abd Ali, Haider Ahmed Mohammed and Husam Abdulhusein Wahhab. A Novel Design of 7-Level Diode Clamped Inverter. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2019, no. 14, pp. 3666-3673. doi.org/10.36478/jeasci.2019.3666.3673.
12. Kuvshinov V.V., Kolomiychenko V.P., Kakushkina E.G. Storage System for Solar Plants. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 3, pp. 153-158.
<https://doi.org/10.3103/S0003701X19030046>.
13. Abdali A.L.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. HYBRID POWER GENERATION BY USING SOLAR AND WIND ENERGY. *Energy*, 2, 3.
14. Abd Ali Layth & Al-Rufae Faez. Simulation of a Model Photovoltaic power system to generate electricity. 2019, pp. 234-240.
15. Abd Ali L.M., Ahmed Mohammed H., Anssari M.O.H. Modeling and simulation of tidal energy. *J. Eng. Appl. Sci.*, 2019, no. 14, pp. 3698-3706.
doi.org/10.3923/jeasci.2019.3698.3706.
16. Abd Ali Layth & Kuvshinov V. *Generatsiya elektricheskoi energii gibridnoi silovoi ustanovki* [Hybrid Power Generation Electric Power Generation]. *Nauchnaya initsiativa inostrannykh studentov* [Nauchnaya initsiativa inostrannykh studentov], 2019, pp. 66-73 (in Russ.).
17. Daus, Y.V., Kharchenko, V.V., Yudaev, I.V. Managing Spatial Orientation of Photovoltaic Module to Obtain the Maximum of Electric Power Generation at Preset Point of Time. *Appl. Sol. Energy*. 2018, Vol. 54, no. 6, Pp. 400-405
18. Pavel Nikolaevich Kuznetsov, Layth Mohammed Abd Ali, Vladimir Vladislavovich Kuvshinov Hayder Abdulsahib Issa, Hayder Jasim Mohammed, Ali Ghanim Al-bairmani. Investigation of the losses of photovoltaic solar systems during operation under partial shading. *Journal of Applied Engineering Science*, 2020, vol. 18, no. 3, pp. 194-202.
doi:10.5937/jaes18-24460.

DEVELOPMENT OF THE SIMULATION AND CONTROL SYSTEM FOR AN INTEGRATED SOLAR ENERGY GENERATION AND STORAGE

Abdali L.M.¹, Kuvshinov V.V.², Bekirov E.A.³, Al-Rufaae F. M.⁴

¹Sevastopol State University, Institute of Nuclear Energy and Industry, 7, Kurchatov Avenue, Sevastopol, 299015, Russia, E-mail: laithm.abood@uokufa.edu.iq

²Sevastopol State University, Institute of Nuclear Energy and Industry, 7, Kurchatov Avenue, Sevastopol, 299015, Russia, E-mail: kuvshinov.vladimir@gmail.com

³Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky "295007, Simferopol, Prospect Academic Vernadsky 4, Russia, mail:bekirov.e.a@cfuv.ru

⁴ Sevastopol State University, Institute of Nuclear Energy and Industry, 7, Kurchatov Avenue, Sevastopol, 299015, Russia, E-

Abstract: When photovoltaic stations operate, providing large populated areas of the planet, and generating significant amounts of electrical energy, problems often arise due to the inconstancy of the flux of incident solar radiation. This leads to failures in the operation of electrical networks and rapid wear of equipment. By equipping such facilities with new systems for the control and monitoring of photovoltaic parameters, it is possible to significantly increase the generation of electrical energy supplied to the general or local power system, and improve the efficiency of the electrical installations located at the solar power plant. The proposed work presents a general approach to modeling and controlling the operation of photovoltaic systems (PV systems). The necessary data for modeling are provided by manufacturers in the form of tables. The processing of this data provides experimenters and engineers with a convenient way to investigate the problems of integrating photovoltaic systems into uninterruptible generation installations to supply individual consumers. The two-stage power conversion system (PCS) proposed in this article works in conjunction with a photovoltaic generating system. The electrical energy storage system (BESS system) uses rechargeable batteries and can be connected to the DC circuit by means of a bidirectional converter. Thus, the BESS system may provide some auxiliary services that may be needed to improve operational efficiency during the generation process. This article describes a special system of uninterrupted operation (FRT-system), which allows you to create the possibility of uninterrupted operation and the generation of electrical energy by the generation system, in case of incorrect operation of individual nodes (for example, with partial shading of solar modules). The operation of an integrated generation system, an electric energy storage system (BESS-system) and a photovoltaic system (PV-system), together with the corresponding control systems simulated on Matlab platforms and the simulation results confirm the efficiency of the controller. When introducing the proposed systems at existing and under construction solar power plants (SPP), it is possible to significantly improve the efficiency of their work and increase the generation of electricity for consumers.

Subject of study. Integrated solar power generation and storage system.

Materials and methods. To achieve this aim, it is necessary to present research methods of computer modeling of control parameters for an energy storage system of photovoltaic solar cells and integrated solar generation using the Matlab software environment.

Results. This article discusses a battery energy conversion system built into an energy storage system. Battery management systems. The regulating converter of the energy storage system and the inverter connected to the network are designed to allow passage in the event of a failure.

Findings. The simulation has executed that confirmed the effectiveness of the proposed control systems.

Key words: Multi input boost DC / DC converter, PV, solar radiation, simulation, MPP, photovoltaic cells.

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИЛОВЫХ АГРЕГАТОВ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ПО УДЕЛЬНЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Николенко И.В.

Академия строительства и архитектуры
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,
Адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181.
e-mail: nikoshi@mail.ru

Аннотация. Выполнен анализ проблем повышения энергетической эффективности силовых агрегатов насосных станций систем водоснабжения. Проведен анализ понятия энергетической эффективности в применении к силовым агрегатам насосных станций систем водоснабжения и водоотведения. Предложена методика и аналитические зависимости для оценки энергетической эффективности силовых агрегатов по удельным показателям, в том числе при их частотном регулировании. Способ позволяет существенно упростить процесс оценки энергетической эффективности на стадии проектирования насосных станций систем водоснабжения.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, система водоснабжения, водопроводная сеть, насосный агрегат, удельный расход энергии, частотное регулирование.

ВВЕДЕНИЕ

Системы подачи и распределения воды являются важнейшим элементом современных систем водоснабжения, которые обеспечивают транспортировку, распределение по территории снабжаемых объектов и доставку к местам отбора необходимого количества воды под требуемым напором в соответствии с нуждами потребителей. В этих системах объектов ЖКХ, промышленных, сельскохозяйственных и энергетических предприятий, насосные станции (НС) являются наиболее ответственными элементами, представляющие собой сложный комплекс механического, гидравлического и энергетического оборудования, трубопроводов, арматуры, контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации. Состав сооружений, агрегатов, их конструктивные особенности, тип и число основного и вспомогательного оборудования определяются исходя из принципов рационального использования источников воды, потребляемой энергии, а также минимизации стоимости строительства НС и ее эксплуатации с учётом назначения и предъявляемых к ней технологических требований.

Системы водоснабжения и водоотведения (СВВ) относятся к наиболее энергоёмким объектам ЖКХ, где основными потребителями электроэнергии являются НС. В этих системах в России на перекачку насосными агрегатами чистых и загрязнённых вод ежегодно расходуется 120...130 млрд. кВт-час электроэнергии [1]. В структуре себестоимости на оказание услуг по водоснабжению и водоотведению затраты на электроэнергию могут достигать 50%, в том числе непродуктивные затраты до 20%. Важной составляющей затрат в структуре себестоимости

являются потери воды при ее распределении и транспортировке потребителям, которые могут достигать не менее 30% от общих объемов. Повышенные напоры в сети создают дополнительные потери, что снижает энергетическую эффективность системы в целом [2]. Силовые агрегаты НС являются основными структурными элементами, которые во многом задают эксплуатационные возможности и технический уровень системы водоснабжения в целом, а также существенно определяют энергетические и экономические показатели ее работы. Поэтому вопрос повышения энергетической эффективности насосного оборудования в СВВ является первоочередным [3].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Одной из основных задач экономического и социального развития Российской Федерации является разработка и осуществление мероприятий по рациональному и эффективному использованию всех видов ресурсов [4]. Законодательно закрепленные национальные цели по повышению энергетической эффективности российской экономики количественно отражаются в виде снижения к 2020 году энергоёмкости валового внутреннего продукта на 40% по сравнению с 2007 годом при развитии экономики по «инновационному» сценарию, то есть ежегодный рост этого показателя должен быть не менее 3,3% в год. **Энергетическая эффективность** – характеристика, которая соответствует отношению полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, для получения этого эффекта, применительно к продукции либо технологическому процессу [4]. Существует

иерархия показателей энергетической эффективности. На самом верхнем уровне стоит показатель энергоемкости ВВП для государства в целом. На втором уровне показателей потребление энергии анализируется по основным секторам и отраслям экономики. На этом уровне определяются следующие показатели: энергоемкость промышленности, транспорта, ЖКХ и т.п. На третьем уровне оцениваются показатели энергетической эффективности производства различных однотипных видов товаров, работ и услуг в виде специальных удельных показателей энергетической эффективности: удельный расход энергии на подачу 1 м³ воды или отведение 1 м³ стоков, на производство тонны цемента, на отопление 1 м² жилой площади и т.д. [5].

В настоящее время для перекачки воды в СВВ используют в основном центробежные насосы (ЦН). Широкое применение насосных агрегатов такого типа в НС систем подачи и распределения воды, перекачки стоков обуславливается простотой их конструкции, обеспечением больших подач, а также возможностью работы с загрязненными жидкостями, с различными свойствами и характеристиками. Главным недостатком ЦН является их относительно низкий КПД, составляющий в рабочем диапазоне для большинства конструкций не более 80...75%, что обусловлено принципом их работы. Другим существенным недостатком центробежных насосов является не жесткость напорной характеристики, приводящая при изменении подачи к существенному изменению напора и КПД.

Проблема повышения энергетической эффективности технологического процесса подачи необходимого количества воды под требуемым напором в соответствии с нуждами потребителей является одной из основных для систем водоснабжения и водоотведения [1, 3, 6 - 13]. Разработке новых конструкций и технологических процессов для повышения энергетической эффективности силовых агрегатов НС систем водоснабжения в технической литературе посвящено значительное количество исследований. В работах Лезнова Б.С., Николаева В.Г., Хованского С.А., Шмиголя В.В, Черносвитова М.Д., Бойко В.С., Сотника М.И., многих российских и зарубежных исследователей описаны подходы к повышению энергетической эффективности насосного оборудования НС систем водоснабжения путем регулирования режимов работы насосных агрегатов и согласования характеристик насосов и сетей водоснабжения с учетом условий их эксплуатации.

Определять приоритеты и очередность реализации целей и задач по повышению энергетической эффективности систем водоснабжения и водоотведения целесообразно выполнять на основе анализа, изучения и применения отечественного опыта, а также передовых зарубежных стран по вопросам энергетической эффективности. Политика европейских стран за последние десятилетия

является примером комплексного подхода к решению проблем повышения энергетической эффективности в различных сферах и отраслях экономики. В национальных системах учета повышения энергетической эффективности разных стран используются различные подходы ее количественного определения. Ключевым мероприятием является разработка единой системы показателей энергетической эффективности для различных уровней иерархии показателей и на ее основе принятие нормативных и законодательных документов, что обеспечивает создание системы стимулирования для внедрения энергосберегающих технологий. В последние десятилетия наиболее показательными стали мероприятия по маркировке энерго-эффективности оборудования и изделий. Суть маркировки состоит в том, что на основе исследования энергопотребления и анализа условий эксплуатации в группе однотипных изделий каждому из них рассчитывается и присваивается определенный индекс энергетической эффективности (ИЭЭ), который устанавливается в технической документации. В целях унификации шкала энергетической эффективности для всех групп маркируемых изделий разбивается на несколько классов.

Для разработки стандартных подходов оценки энергетической эффективности насосных агрегатов в РФ до настоящего времени были подготовлены ГОСТ EN16297-1-2015 «Общие требования и методика испытаний и расчета индекса энергетической эффективности (ИЭЭ)» [14] и ГОСТ EN16297-2-2015 «Расчет индекса энергетической эффективности (ИЭЭ) автономных циркуляционных насосов» [15]. В профессиональном сообществе, в основном производителей насосного оборудования, обсуждается вопрос применения так называемого «расширенного подхода» к оценке энергетической эффективности насосного оборудования [16, 17, 18]. Для этого планируется применять критерии эффективности для системы насос–двигатель–привод–сеть в целом. Опыт применения вышеуказанных стандартов для расчета ИЭЭ силовых агрегатов НС подкачки с учетом условий эксплуатации с анализом квалификационной схемы показателей был выполнен в работе [19]. Как показали выполненные расчеты ИЭЭ методика по определению ИЭЭ основана на результатах сложных и недостаточно обоснованных расчетов, которые мало пригодны для оперативной оценки энергетической эффективности силового агрегата в определенных условиях эксплуатации, а также при оценке стоимости жизненного цикла СВВ. Недостатком этого индекса является невозможность его простой логической интерпретации для анализа реальных условий работы силовых агрегатов СВВ.

Для силовых агрегатов НС оценку принятых технических решений и анализа их энергетической эффективности необходим объективный обобщенный критерий. В качестве такого критерия для силовых агрегатов НС можно принимать

удельный расход энергии в кВт · час на подачу 1 м³ воды либо отведение 1 м³ стоков.

Мощность, потребляемая силовым агрегатом НС в кВт определяется по зависимости

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{1000 \cdot \eta_a}, \quad (1)$$

где ρ – плотность перекачиваемой жидкости, кг/м³; $g = 9,82$ м/с² – ускорение свободного падения; H – напор, создаваемый насосом, м; Q – подача насоса, м³/с; η_a – КПД силового агрегата, который определяется в виде произведения

$$\eta_a = \eta_n \cdot \eta_\varepsilon \cdot \eta_{\text{п}}, \quad (2)$$

где η_n – КПД насоса; η_ε – КПД электродвигателя; $\eta_{\text{п}}$ – КПД элементов привода, установленных между насосом и электродвигателем либо изменяющих режимы работы силового агрегата.

Удельный расход энергии в кВт·час/м³ на подачу воды, с учетом ее плотности $\rho = 1000$ кг/м³ находим по формуле

$$W = \frac{g \cdot H}{3600 \cdot \eta_a}, \quad (3)$$

Для каждой НС удельный расход энергии может существенно отличаться, в зависимости от характеристик силовых агрегатов, условий эксплуатации, систем регулирования. Средний удельный расход энергии на подачу воды в России составляет 0,5...0,55 кВт·час/м³, но для отдельных силовых агрегатов НС он может быть существенно ниже - 0,1...0,2 кВт·час/м³ [8]. Удельный расход энергии пропорционален создаваемому напору насосным агрегатом, поэтому сравнение этих показателей объективно может отражать энергетическую эффективность систем водоснабжения с простым рельефом, на котором расположены потребители одной зоны по напору. Для оценки энергетической эффективности силовых агрегатов НС систем водоснабжения со сложным рельефом целесообразно применять удельный расход энергии в кВт·час/м³ при создании напора равного 1 м, то есть

$$W_e = \frac{g}{3600 \cdot \eta_a} \quad (4)$$

Значение этого показателя зависит только от КПД силового агрегата и в диапазоне КПД $\eta_a = 0,85 \dots 0,5$ составляет 3,4...5,5 Вт·час/м⁴. Для определения удельного расхода энергии на подачу воды необходимо применить соотношение

$$W = W_e \cdot H. \quad (5)$$

АНАЛИЗ УДЕЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ РЕГУЛИРУЕМЫХ АГРЕГАТОВ

Совместная работа насосного агрегата и водопроводной сети (ВС) характеризуется рабочей

точкой, то есть параметрами при которых полезная мощность насоса равна мощности, потребляемой сетью, а напор насоса равен сопротивлению системы. Процесс регулирования параметров ВС осложняется существенными различиями их характеристик и напорных характеристик ЦН, то есть зависимостей напора от подачи. Аналитически эти характеристики представляются квадратичными функциями. При этом напорная характеристика ЦН на рабочем участке монотонно падающая, а ВС - монотонно растущая. Поэтому небольшие изменения подачи ВС могут приводить к значительным изменениям напора. Для обеспечения высокой энергетической эффективности насосного оборудования необходимо, чтобы при регулировании параметров КПД при регулировании не должен опускаться 10...15% от максимального уровня.

Одним из современных способов регулирования параметров силовых агрегатов насосных станций является частотное регулирование, которое обеспечивается изменением частоты вращения рабочего колеса ЦН. За счет регулирования частоты вращения рабочего колеса насосного агрегата, в некоторых случаях можно значительно сократить расходы на электроэнергию.

Изменение главных параметров насосных агрегатов с ЦН соответствует формулам пропорциональности, то есть

$$Q_{\text{и}} = Q_{\text{н}} \cdot i, \quad (6)$$

$$H_{\text{и}} = H_{\text{н}} \cdot i^2, \quad (7)$$

где $Q_{\text{и}}, Q_{\text{н}}$ – измененная и начальная подача ЦН при номинальной частоте вращения, $H_{\text{и}}, H_{\text{н}}$ – измененный и начальный напор ЦН при номинальной частоте вращения, $i = \frac{n_{\text{и}}}{n_{\text{н}}}$ – степень изменения частоты вращения рабочего колеса ЦН, $i_{\text{и}}, i_{\text{н}}$ – измененная и номинальная частота вращения рабочего колеса ЦН.

Изменение КПД при частотном регулировании подачи насосного агрегата с ЦН соответствует зависимости

$$\eta_{\text{и}} = 1 - \frac{(1 - \eta_{\text{н}})}{i^a}. \quad (8)$$

где $\eta_{\text{и}}, \eta_{\text{н}}$ – измененный и начальный КПД насосного агрегата при номинальной частоте вращения, $a = 0,2 \dots 0,3$ – параметр влияния.

В монографиях [8, 20] приводятся условия при которых применение частотного регулирования силовых агрегатов насосных обеспечивают технико-экономическую эффективность. Но приведенные условия носят в основном качественный характер. Для количественной оценки энергетической эффективности определим относительный удельный расход энергии на подачу воды при частотном регулировании насосного агрегата

$$\Delta W = \frac{W_{\text{и}}}{W_{\text{н}}}, \quad (9)$$

где $W_{и}, W_{н}$ – измененный и начальный удельный расход энергии насосного агрегата при номинальной частоте вращения.

Относительный удельный расход энергии на подачу воды при частотном регулировании насосного агрегата с учетом зависимостей (3), (7) и (8) представим в виде

$$\Delta W = \frac{\eta_{н} \cdot i^{2+a}}{\eta_{н} + i^a - 1} \quad (10)$$

Результаты расчета относительного удельного расхода энергии на подачу воды при частотном регулировании насосного агрегата представлены на рис.1 для значений начального КПД насосного

агрегата при номинальной частоте вращения $\eta_{н} = 0,6; 0,7; 0,8; 0,9$ в диапазоне степени изменения частоты вращения рабочего колеса ЦН $1 \leq i \leq 0,8$, а также расчет этого показателя без учета влияния на КПД изменения частоты вращения рабочего колеса ЦН. Из анализа представленных на рис. 1 зависимостей следует, что с уменьшением степени изменения частоты вращения рабочего колеса ЦН и увеличении значений начального КПД насосного агрегата при номинальной частоте вращения $\eta_{н}$ относительный удельный расход энергии на подачу воды при частотном регулировании уменьшается.

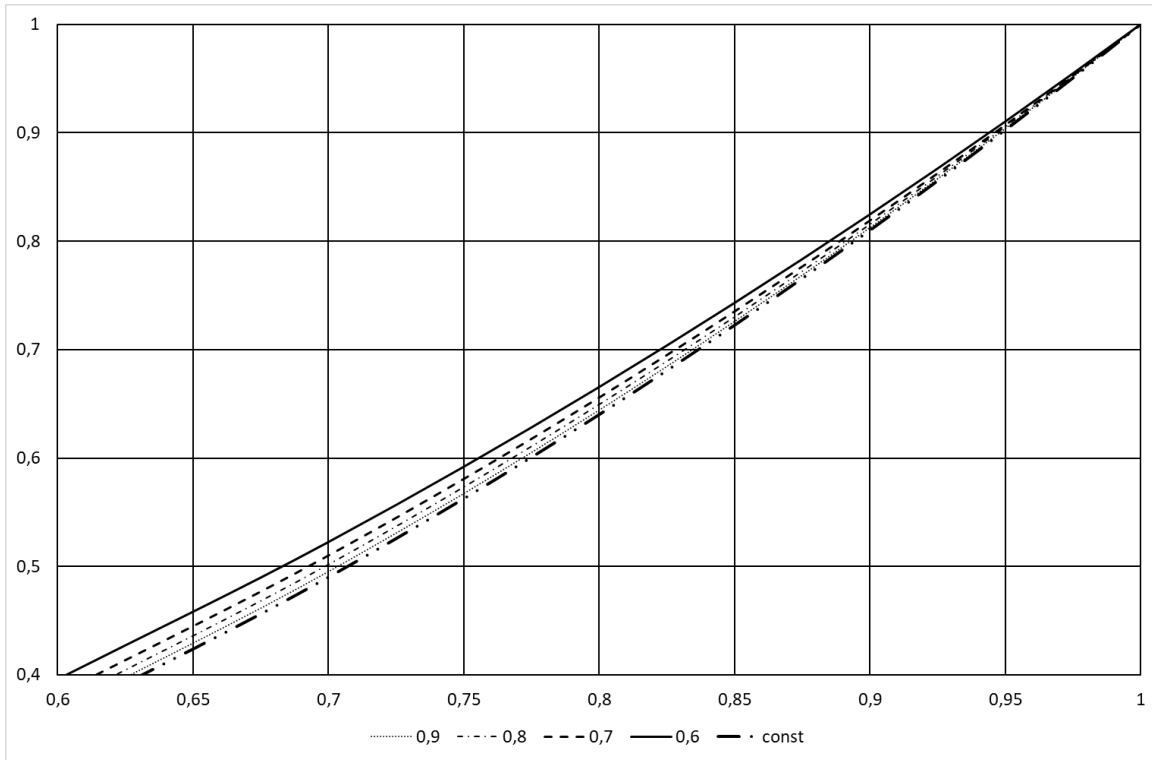


Рис.1. Зависимость относительного удельного расхода энергии на подачу воды при частотном регулировании насосного агрегата от степени изменения частоты вращения рабочего колеса ЦН

Fig. 1. Dependence of the relative specific energy consumption for water supply during frequency control of the pump unit on the degree of change in the speed of rotation of the CN impeller

При степени изменения частоты вращения рабочего колеса ЦН $i = 0,9$, в рассмотренном диапазоне значений КПД, относительный удельный расход энергии с учетом изменения КПД отличается менее чем на 2%, при $i = 0,6$ различается, более чем на 11%.

Определение удельного расхода энергии на подачу воды при изменении частоты вращения рабочего колеса ЦН при известном удельном расходе энергии насосного агрегата при номинальной частоте вращения, согласно зависимости (9), определяется в виде

$$W_{и} = \Delta W \cdot W_{н} \quad (11)$$

Анализ результатов применения в системах водоснабжения и водоотведения регулируемого электропривода ЦН показал, что в одних случаях его установка приводит к ощутимой экономии

энергии, в других – она незначительна, в-третьих, установка такого привода не обеспечивает получение экономии энергии [8, 20, 21]. Это показало необходимость разработки методики оценки энергетической эффективности применения частотного регулирования ЦН на ранних стадиях проектирования СВ.

Предложена методика оценки энергетической эффективности силовых агрегатов НС СВВ по удельным показателям, в том числе с применением частотного регулирования ЦН. В качестве объекта исследований приняты удельный расход энергии либо относительный удельный расход энергии на подачу воды при частотном регулировании насосного агрегата.

Оценка энергетической эффективности силовых агрегатов НС по удельным показателям, с достаточной для инженерных расчетов точностью, отображает энергетические характеристики

реальных ЦН. Поэтому может служить основой для расчета стоимости жизненного цикла при сравнительном анализе систем подачи и распределения воды с различными силовыми агрегатами и системами регулирования.

ВЫВОДЫ

К наиболее энергоемким объектам жилищно-коммунального хозяйства относятся СВВ, в которых основными потребителями энергии являются силовые агрегаты НС. Поэтому важным направлением совершенствования этих систем жизнеобеспечения, является повышение энергетической эффективности, что является приоритетным направлением исследований в соответствии с законодательством Российской Федерации.

В качестве критерия оценки энергетической эффективности предложено рассматривать удельный расход энергии либо относительный удельный расход энергии на подачу воды при частотном регулировании насосного агрегата. Представлены расчетные зависимости для определения относительного удельного расхода энергии на подачу воды при частотном регулировании насосного агрегата от степени изменения частоты вращения рабочего колеса ЦН.

Оценка энергетической эффективности силовых агрегатов НС по удельным показателям, с достаточной для инженерных расчетов точностью, позволяет выполнять расчеты стоимости жизненного цикла при сравнительном анализе систем подачи и распределения воды с различными силовыми агрегатами и системами регулирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев В. Г. Энергосберегающие способы выбора параметров и оптимизация управления группой лопастных нагнетателей в нестационарных технологических процессах: дис. ... докт. техн. наук. – Щелково, 2008. – 372 с.
2. Хроменков С.В. Задачи развития водной отрасли для обеспечения населения России чистой водой// Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. № 5. – С. 15 – 22.
3. Хованський С.О. Підвищення ефективності експлуатації відцентрових насосів у системі водопостачання житлово-комунального господарства: дис. ... канд. Техн. Наук. –Суми, 2010. – 162 с.
4. Федеральный закон от 23.11.2009 г. № 261 – ФЗ (с ред. от 13.07.2015 г.) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
5. Башмаков И.А., Мышак А.Д. Российская система учета повышения энергоэффективности и экономии энергии// М.: ЦЭНЭФ, 2012. – 81 с.
6. Кирсанов А.А. Исследование работы внутриквартальных подкачивающих насосных

станций/ А.А. Кирсанов, В.Н. Колчев, В.В. Шмиголь, М.Д. Черносвитов// Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. - № 9, ч.2. – С. 30-33.

7. Черносвитов М.Д. Энергетическая эффективность интегрального регулирования работы повысительных насосов// Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2013. - № 4 (13). – С. 96 – 99.

8. Лезнов Б.С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. – М.: Машиностроение, 2013. – 176 с.

9. Николенко И., Пастушенко А., Котовская Е. Анализ влияния условий эксплуатации насосной станции на параметры насосных агрегатов// MOTROL: Polish Academy of sciences. – Lublin, 2010. – Vol. 12D. – p. 33-44.

10. Бойко В.С. Аналіз частотного регулювання відцентрових насосів водопостачання з метою енергозбереження/ В. С. Бойко, В. Г. Неня, М. І. Сотник, С. О. Хованський// Вісник КДПУ ім. М. Остроградського.– Кременчук: КДПУ. - Вип. 4, 2009 (57), ч. 1. – С. 147-151.

11. Николенко И.В., Рыжаков А.Н., Умаров Р.С. Повышение энергетической эффективности регулирования силовых агрегатов насосных станций систем водоснабжения// Строительство и техногенная безопасность. Сб. научных трудов АСиА. – Симферополь, 2016. – вып. 55. – С. 75 – 82.

12. Фисенко В.Н. Энергетическая эффективность насосов в системах водоснабжения и водоотведения// Водоснабжение и санитарная техника. -2018, №6. - С. 52 - 56.

13. Шмиголь В.В., Черносвитов М.Д., Атанов Н.А. Интегральное регулирование работы повысительных насосов// Водоснабжение и санитарная техника. - 2013, № 8. – С. 23 – 27.

14. ГОСТ EN16297-1-2015. Энергетическая эффективность. Насосы циркуляционные герметичные. Общие требования и методики испытаний и расчета индекса энергетической эффективности (ИЭЭ).

15. ГОСТ EN16297-2-2015. Энергетическая эффективность. Насосы циркуляционные герметичные. Расчет индекса энергетической эффективности (ИЭЭ) автономных циркуляционных насосов.

16. ISO/ASME 14414:2015 (E) Pumping system energy assessment, MOD.

17. ISO/ASME 14414:2015, MOD. Оценка энергоэффективности насосных систем. Проект межгосударственного стандарта.

18. Draft EUROPEAN STANDARD EN 16480 Pumps-Minimum required efficiency of rotor dynamic water pumps. – p. 68.

19. Николенко И.В., Котовская Е.Е. Оценка энергетической эффективности работы агрегатов насосных станций подкачки с учетом условий эксплуатации// Строительство и техногенная безопасность. – 2016, № 4 (56). – С. 103-112.

20. Березин С.Е. Насосные станции с погружными насосами. Расчет и конструирование. – М.: Стройиздат, 2008. – 160 с.

21. Николенко И.В. Анализ энергоэффективности частотного регулирования по относительным параметрам силовых агрегатов насосных станций и водопроводных сетей систем водоснабжения// Строительство и техногенная безопасность. – 2019, № 14 (66). - С. 101-111.

ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY OF POWER UNITS PUMPING STATIONS WATER SUPPLY AND SANITATION SYSTEMS BY SPECIFIC INDICATORS

Nikolenko I.V.

Annotation. The analysis of problems of increasing the energy efficiency of power units of pumping stations of water supply systems is performed. The analysis of the concept of energy efficiency in application to power units of pumping stations of water supply and sanitation systems is carried out. A technique and analytical dependencies for evaluating the energy efficiency of power units based on specific indicators, including their frequency regulation, are proposed. This method significantly simplifies the process of evaluating energy efficiency at the design stage of pumping stations for water supply systems.

Key words: energy efficiency, water supply system, water supply network, pumping unit, specific energy consumption, frequency regulation.

Раздел 4. Экологическая безопасность

УДК 502.3:504.06

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АКУСТИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ В РАМКАХ ФИЗИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Беспалов¹ В.И., Гурова² О.С., Баклакова³ В.В.

Донской государственный технический университет,
Адрес: Площадь Гагарина 1, Ростов-на-Дону, 344000, Россия
e-mail: zos-rgsu@mail.ru¹, okgurova@yandex.ru², valeriya.baclackowa@yandex.ru¹

Аннотация. Статья посвящена анализу физической сущности процесса акустического загрязнения воздушной среды для цеха глиняного кирпича формовочного отделения кирпичного завода, в рамках физико-энергетического подхода. Согласно этому подходу акустическое загрязнение воздушной среды рассматривается как многоэтапные вероятностный процесс, реализация которого зависит от физических характеристик всех объектов принимающих в нем участие на каждом этапе и особенностей их взаимодействия друг с другом. Весь процесс поэтапно иллюстрирует, составленная авторами, физическая модель акустического загрязнения воздушной среды.

Предмет исследования: процесс акустического загрязнения воздушной среды.

Материалы и методы основаны на аналитическом обобщении известных научных результатов в области борьбы с шумом, основных положениях теории моделирования систем и теории вероятности.

Результаты: построена физическая модель процесса акустического загрязнения воздушной среды для предприятий строительной отрасли.

Выводы: предложенная авторами физическая модель процесса акустического загрязнения может быть положена в основу при построении физической модели процесса снижения акустического загрязнения воздушной среды и может быть применена при выборе экологически эффективных на городских территориях систем снижения шума.

Ключевые слова: акустическое загрязнение, шумовое загрязнение, физическая модель, защита от шума, процесс загрязнения воздуха

ВВЕДЕНИЕ

Развитие промышленной инфраструктуры, интенсификация развития городских территорий, увеличение сети транспортного комплекса и другие последствия технико-технологического развития общества неизбежно приводят к возрастанию техногенной нагрузки на окружающую среду. Деятельность промышленных предприятий влечет за собой негативные последствия, которые чаще всего выражаются в выбросах в атмосферу вредных загрязняющих веществ, загрязнении недр и почв, размещении отходов потребления и производства, сбросе загрязняющих веществ и микроорганизмов в поверхностные и подземные водные объекты, загрязнение окружающей среды акустическим, тепловым, электромагнитным, ионизирующим и другими видами физических воздействий. Все эти процессы также оказывают негативное влияние на жизнедеятельность человека. Согласно данным статистики и многолетних наблюдений именно шум является одним из самых агрессивных компонентов урбанизированной среды, оказывающих негативное влияние на человека в процессе его трудовой деятельности. С развитием общества значение этого вопроса растет, поэтому изучение условий

шумообразования и поиск путей борьбы с шумом становятся все более актуальными.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Проблема борьбы с шумом стала актуальна во время научно-технической революции, когда новые мощные машины, активно стали входить в производственный процесс, заменяя человеческий труд. Зачастую чем выше производительность технологического оборудования, тем большим количеством выделяемой энергии сопровождается его работа, часть из которой преобразуется в акустическую. Развитие промышленной индустрии и появление большого числа новых предприятий привели к тому, что подверженными влиянию высоких уровней звукового давления оказались не только представители некоторых специальностей, но и практически все жители крупных городов. Первыми проблему борьбы с шумом в производственной среде исследовали такие советские ученые как М.С. Ческин, В.Н. Лукашин, И.А. Карогодина, А.А. Факторович, В.Н. Белоусов, В.Н. Зибров. В своих работах авторы уделяют большее внимание поиску и обоснованию новых технических решений по совершенствованию технологического оборудования, которые позволили бы снизить уровень излучаемого шума.

Так же большое внимание уделялось градостроительным мерам, направленным на создание акустически комфортных условий в урбанизированной среде.

На современном этапе развития промышленности, несмотря на новые высокотехнологичные машины и оборудование проблема высоких уровней шума в производственной среде остается актуальной и находит отражение в работах таких авторов как З.П. Оказова, У.Ю. Павлова, П.Н. Сидякин, А.В. Васильев и др.

Анализ работ авторов позволяет выделить два основных направления. Первое – поиск и обоснование новых технических возможностей снижения шума за счет совершенствования технологического оборудования и технологического сырья. Так же большая часть исследований в области борьбы с повышенными уровнями шума посвящена поиску и разработке эффективных средств защиты от шума, как в производственной среде, так и в условиях городов.

Несмотря на обширные исследования в области борьбы с повышенным уровнем шума и поиска наиболее эффективных средств и способов защиты от него, в работах отечественных и зарубежных авторов не уделяется должного внимания физической сущности процессов акустического загрязнения воздушной среды и обратному ему процессу снижения акустического загрязнения. Многие авторы в своих работах не учитывают особенности процесса акустического загрязнения, сразу переходя к поиску путей снижения шумовой нагрузки, что не может привести к выбору высокоэффективной системы защиты от шума. Однако, мы полагаем, что проектирование экологически эффективной и энергетически экономичной системы снижения акустического загрязнения невозможно без изучения физической сущности процесса акустического загрязнения воздушной среды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Методы исследования базируются на основных положениях теории моделирования систем и теории вероятности, а так же научном и аналитическом обобщении известных практических и теоретических результатов исследований. В качестве материалов исследования выступают российские и зарубежные научные публикации по исследуемой проблеме.

Объектом исследования является процесс акустического загрязнения воздушной среды, как сложный многоэтапный процесс, учитывающий поведение и основные физические характеристики всех объектов, принимающих в нем участие.

Наиболее предпочтительным для исследования процесса акустического загрязнения является физико-энергетический методологический подход, поскольку он позволяет выявить физические связи,

возникающие при взаимодействии всех объектов, принимающих участие в данном процессе и спрогнозировать их поведение, под влиянием физических параметров.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В соответствии с выбранным за основу исследования физико-энергетическим подходом был рассмотрен процесс акустического загрязнения, реализующийся в производственной среде. Согласно данным статистических исследований за последние несколько лет до 40%, занятых на работах под воздействием повышенного уровня шума, являются работниками строительной индустрии. Строительная отрасль сегодня представляет серьезный комплекс промышленных предприятий, которые не только обеспечивают производство строительных материалов и конструкций, но и реализуют строительство объектов различного назначения. Практически на всех уровнях работа предприятий строительной индустрии сопровождается интенсивным излучением шума, оказывая негативное влияние как непосредственно на работников, так и на окружающую среду, внося существенный вклад в формирование акустической обстановки селитебной территории.

Как было отмечено ранее, формирование системы снижения акустического загрязнения должно начинаться с изучения физической сущности процесса и выявления основных особенностей и параметров всех объектов, принимающих участие в нем на каждом его этапе. Рассматривая различные технологические процессы, реализующиеся на предприятиях строительной индустрии можно заключить, что процесс акустического загрязнения пространства будет в каждом случае иметь разное количество этапов, зависящее от ряда параметров и в частности от характера источника шума и его местонахождения. На основании проведенного анализа нами выделены две основных группы источников шумового загрязнения на предприятиях строительной отрасли. К первой относятся технологическое оборудование (или часть оборудования), находящееся в производственных корпусах и стационарные источники шума на территории предприятий, а ко второй передвижные источники, к которым относится транспорт, задействованный в работе предприятий стройиндустрии.

На основании изучения и выявления основных источников шумового воздействия на различных предприятиях строительной индустрии мы можем сделать вывод, что самым распространенным является сценарий акустического загрязнения, при котором источник излучения шума находится внутри производственного помещения. В таком случае процесс является достаточно сложным и состоит из пяти этапов. Проведенные наблюдения позволили нам выявить основные этапы шумового

загрязнения воздушной среды (1 – образование звуковых волн, 2 – внутреннее излучение звуковых волн, 3 – внутреннее распространение звуковых волн, 4 – внешнее излучение звуковых волн, 5 – внешнее распространение звуковых волн), при последовательной реализации которых образовавшиеся звуковые волны распространяются в воздухе рабочей зоны и в приземном слое атмосферы, а также привести к обобщенному виду основные физические объекты (технологическое оборудование, внутренний источник образования шума, технологическое сырье, воздух рабочей зоны, производственное помещение, воздух производственного помещения, внешний источник излучения шума, воздух промплощадки, воздух приземного слоя атмосферы), участвующие в процессе на всех этапах. Все перечисленные объекты, так или иначе, оказывают влияние на звуковые волны, определяя характер их образования, излучения и распространения.

Обобщив результаты исследования, сущность шумового загрязнения воздушной среды можем представить с учётом возможности реализации последовательных, связанных между собой событий, соответствующих этапам процесса. Вероятность процесса акустического загрязнения МОЖЕТ БЫ рассматривать как совокупность вероятностей последовательно протекающих физических процессов образования звуковых волн, излучения звуковых волн при наличии условия их образования и распространения звуковых волн при условии реализации процесса излучения и выразить формулой:

$$P_{\text{загр.}} = P_{\text{обр.}} \cdot P_{\text{изл.1.}} \cdot P_{\text{р.1.}} \cdot P_{\text{изл.2.}} \cdot P_{\text{р.2.}} \quad (1)$$

где $P_{\text{загр.}}$ – вероятность процесса акустического загрязнения; $P_{\text{обр.}}$ – вероятность процесса образования звуковых волн; $P_{\text{изл.1.}}$ – вероятность процесса излучения звуковых волн от технологического оборудования внутри производственного помещения при реализации процесса их образования; $P_{\text{р.1.}}$ – вероятность процесса распространения звуковых волн во внутреннем объеме производственного помещения при условии реализации процесса излучения; $P_{\text{изл.2.}}$ – вероятность процесса излучения звуковых волн от внешних источников излучения в воздух промплощадки при реализации процесса их распространения во внутреннем объеме производственного помещения; $P_{\text{р.2.}}$ – вероятность процесса распространения звуковых волн в приземный слой атмосферы при условии реализации процесса излучения от внешних источников в воздух промплощадки.

Исследование процесса акустического загрязнения воздушной среды позволяет заключить, что он состоит из пяти основных связанных между этапов.

На первом этапе происходит образование звуковых волн вследствие взаимодействия

технологического оборудования и технологического сырья. В данном случае источником образования звуковой волны чаще всего выступает часть технологического оборудования.

Второй этап характеризуется реализацией процесса внутреннего излучения звука, который заключается в излучении звуковых волн во внутреннюю среду производственного помещения, при этом на характер излучения непосредственное влияние оказывают основные параметры микроклимата;

На третьем этапе реализуется физический процесс внутреннего распространения, заключающийся в распространении образовавшихся от внутреннего источника звуковых волн во внутренний объем производственного помещения при участии воздуха помещения с учетом параметров микроклимата;

Четвертый этап – процесс внешнего излучения, заключается в выходе распространявшегося во внутреннем объеме производственного помещения звука через внешний источник излучения шума, которым в данном случае являются оконные дверные проемы, во внешнюю воздушную среду. При этом на характер распространения звуковых волн влияют параметры воздуха промплощадки.

На пятом этапе происходит распространение в приземном слое атмосферы звуковых волн, выделившихся через внешний источник распространения шума.

Обобщая результаты, проведенного анализа, мы можем заключить, что в большинстве случаев реализации процесса акустического загрязнения спровоцированного источниками шума, расположенными вне помещений производственного помещения или же передвижными источниками, процесс будет состоять из трех взаимосвязанных этапов: образования звуковых волн, их излучения и распространения в приземном слое атмосферы. Описанный процесс может быть рассмотрен как совокупность вероятностей реализации каждого этапа и представлен в виде формулы:

$$P_{\text{загр.}} = P_{\text{обр.}} \cdot P_{\text{изл.}} \cdot P_{\text{расп.}} \quad (2)$$

где $P_{\text{загр.}}$ – вероятность процесса акустического загрязнения; $P_{\text{обр.}}$ – вероятность процесса образования звуковых волн; $P_{\text{изл.}}$ – вероятность процесса излучения звуковых волн от источника при реализации процесса их образования; $P_{\text{расп.}}$ – вероятность процесса распространения звуковых волн при условии реализации процесса их излучения.

Следовательно, на каждом этапе необходимо применять соответствующие средства и методы снижения акустического загрязнения с учетом физических особенностей каждого этапа, которые в совокупности будут формировать систему снижения акустического загрязнения воздушной среды.

На рисунке представлена блок-схема процесса и физические объекты, задействованные в его реализации.

физической модели акустического загрязнения воздушной среды, отражающая основные этапы

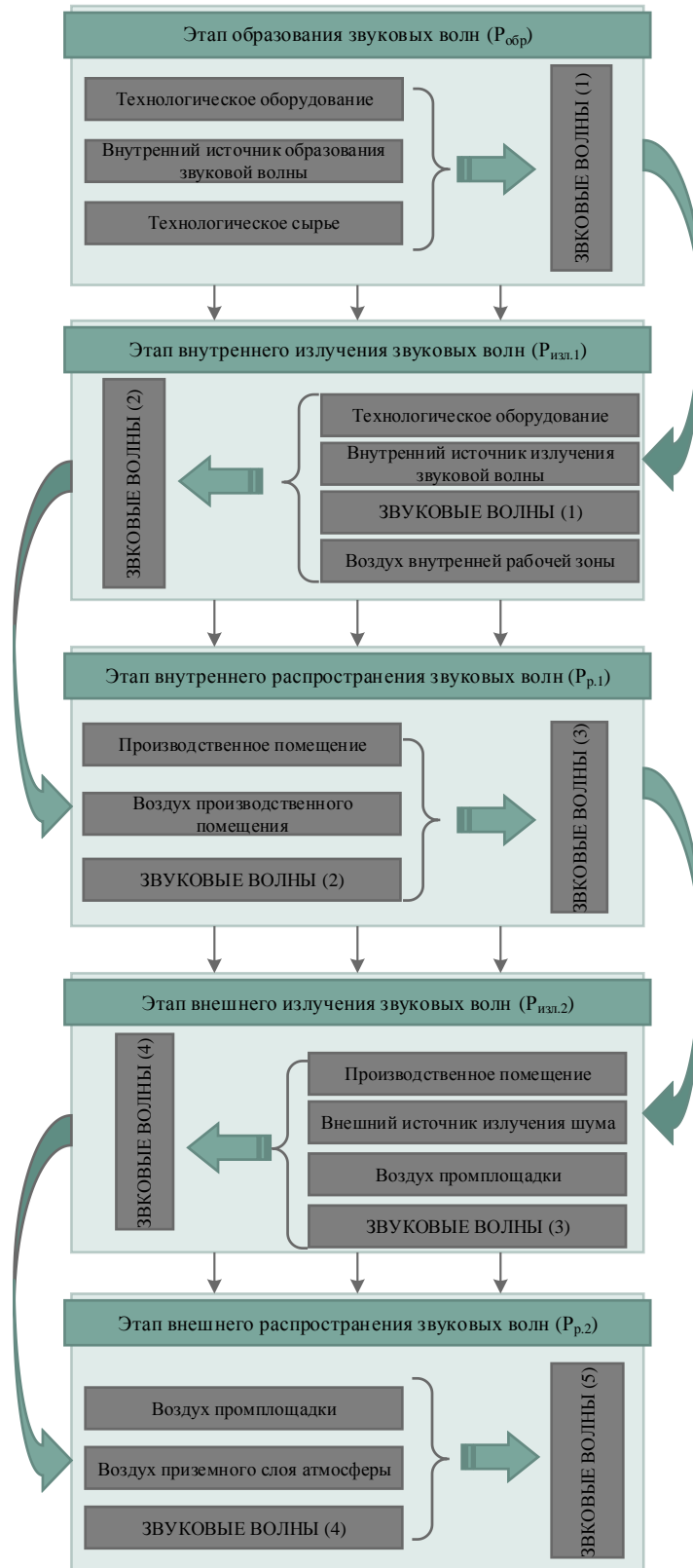


Рис. 1. Физическая модель процесса акустического загрязнения воздушной среды

Fig. 1. Physical model of the process of acoustic air pollution

ВЫВОДЫ

Построенная нами физическая модель процесса акустического загрязнения может быть адаптирована и применена с учетом индивидуальных особенностей источников шума и пространства, в котором он излучается и распространяется для описания процесса акустического загрязнения на любом предприятии строительной отрасли. Что позволит проводить дальнейшие исследования, связанные с изучением и описанием процесса снижения акустического загрязнения: построением физической модели этого процесса, оценкой различных вариантов шумозащитных решений и разработкой методики выбора эколого-эффективных и энергетически экономичных вариантов снижения акустического загрязнения воздушной среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оказова З.П. Шумовое загрязнение как одна из экологических проблем современного города // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 4. С. 540.
2. Сидякин П., Белая Е., Щитов Д. Современные факторы формирования акустической среды городских территорий // Защита от повышенного шума и вибрации Сборник докладов VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Под ред. Н.И. Иванова. 2019. С. 630 – 638.
3. Павлова У.Ю., Асминин В.Ф. Теоретическое представление процесса распространения автотранспортного шума для разработки программного комплекса проектирования сооружений остановочных пунктов общественного транспорта с функцией шумозащитного экранирования // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2016. № 2 (42). С. 123 – 130.
4. Васильев А.В. Шум как фактор экологического риска в условиях урбанизированных территорий // Noise Theory and Practice. 2015. Т. 1. № 2 (2). С. 27 – 40.
5. Чубирко М.И., Степкин Ю.И., Середенко О.В. Гигиеническая оценка шумового фактора крупного города // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94. № 9. С. 37 – 38.
6. Городков А.В., Самохова Н.А., Атрошенко А.М., Булхов Н.А. Оценка состояния экосреды рекреационных территорий крупного города по фактору шума // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2016. Т. 15. № 3. С. 109 – 114.
7. Шеина С.Г., Хамамова А.А., Псеунова С.Р. Экспериментальные исследования уровня шума в г. Ростове-на-Дону // Научное обозрение. 2015. № 4. С. 169 – 173.
8. Шубин И.Л., Антонов А.И., Леденев В.И. Оценка влияния отраженной звуковой энергии на

шумовой режим жилой застройки // Жилищное строительство. 2018. № 8. С. 18-21.

9. Беспалов В.И., Дзюба О.В., Гладиллина А.А. Построение физической модели процесса загрязнения воздушной среды для предприятий по производству цемента // Инженерный вестник Дона. 2015. № 4 (38). С. 64.
10. Терехов А.Л., Сафонов А.Л. Повышение безопасности производственных процессов путем снижения шума трубопроводов // Труд и социальные отношения. 2016. № 4. С. 163-173.
11. Лысова Е.П., Самарская Н.С., Беспалов В.И., Котлярова Е.В. Исследование процесса снижения акустического загрязнения городской среды на основе физико-энергетической концепции // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 5-3 (47). С. 42-45.
12. Беспалов В.И., Самарская Н.С., Лысова Е.П. Методические основы выполнения эколого-экономической оценки акустического воздействия на городскую среду // Инженерный вестник Дона. 2015. № 3 (37). С. 130.
13. Молев М.Д., Масленников С.А. Техногенные риски населения больших городов: моног. Шахты: ИСОиП (филиал) ДГТУ, 2016. 118 с.
14. Молев М.Д., Масленников С.А., Стуженко Н.И. Прогнозирование состояния техносферной безопасности. Шахты: ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты, 2015. 113 с.
15. Ветрова Н.М., Вереха Т. Техногенные шумовые загрязнения как фактор экологии территории // «Строительство и техногенная безопасность». 2015. №1(53). С. 120 – 123.
16. Constantin Munteanu, Moga Ligia Mihaela, Daniela Roxana Tămaș-Gavrea, Nicoleta Cobîrzan, Raluca Fernea. Protection to railway traffic noise in the case of a multilevel residential building from the city of Cluj-Napoca // Procedia Manufacturing, Volume 22, 2018, Pages 339 – 346
17. Bepalov V., Samarskaya N., Lysova E., Akay O. Providing acoustic comfort of built-up zones and rooms in urban planning // MATEC Web of Conferences 2018. С. 03010.
18. Lysova E., Paramonova O., Samarskaya N., Gyrova O., Tsarevskaya I. Application of physical and energetic approach to estimation and selection of atmospheric protection systems for energetic devices // MATEC Web of Conferences 2018. С. 04013.

REFERENCES

1. Okazova Z.P. Noise pollution as one of the environmental problems of the modern city // Modern problems of science and education. 2015. No. 4. P. 540.
2. Sidyakin P., Belaya E., Shchitov D. Modern factors in the formation of the acoustic environment of urban areas // Protection from increased noise and vibration Report collection of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation. Ed. N.I. Ivanova. 2019. S. 630 - 638.
3. Pavlova U. Yu., Asminin V.F. Theoretical presentation of the process of the distribution of road

noise for the development of a software package for the design of structures of public transport stopping points with the function of noise-shielding // *Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture*. 2016. No. 2 (42). S. 123 - 130.

4. Vasiliev A.V. Noise as an environmental risk factor in urban areas // *Noise Theory and Practice*. 2015.Vol. 1. No. 2 (2). S. 27 - 40.

5. Chubirko M.I., Stepkin Yu.I., Seredenko O.V. Hygienic assessment of the noise factor of a large city // *Hygiene and sanitation*. 2015.V. 94. No. 9. P. 37 - 38.

6. Gorodkov A.V., Samokhova N.A., Atroshchenko A.M., Bulkhov N.A. Assessment of the state of the ecological environment of recreational territories of a large city by noise factor // *Bulletin of the Smolensk State Medical Academy*. 2016.Vol. 15. No. 3. P. 109 - 114.

7. Sheina S.G., Khamavova A.A., Pseunova S.R. Experimental studies of the noise level in Rostov-on-Don // *Scientific Review*. 2015. No. 4. P. 169 - 173.

8. Shubin I.L., Antonov A.I., Ledenev V.I. Assessment of the effect of reflected sound energy on the noise regime of residential buildings // *Housing construction*. 2018. No. 8. S. 18-21.

9. Bepalov V.I., Dzyuba O.V., Gladilina A.A. Construction of a physical model of the process of air pollution for cement enterprises // *Engineering Herald of the Don*. 2015. No. 4 (38). S. 64.

10. Terekhov A.L., Safonov A.L. Improving the safety of production processes by reducing the noise of pipelines // *Labor and social relations*. 2016. No. 4. P. 163-173.

11. Lysova E.P., Samarskaya N.S., Bepalov V.I., Kotlyarova E.V. Investigation of the process of

reducing the acoustic pollution of an urban environment based on a physical and energy concept // *International Scientific Journal*. 2016. No. 5-3 (47). S. 42-45.

12. Bepalov V.I., Samarskaya N.S., Lysova E.P. Methodological foundations of the environmental and economic assessment of acoustic impact on the urban environment // *Engineering Bulletin of the Don*. 2015. No 3 (37). S. 130.

13. Molev M.D., Maslennikov S.A. Technogenic risks of the population of large cities: monog. Mines: ISO&P (branch) of DGTU, 2016.118 p.

14. Molev M.D., Maslennikov S.A., Stuzhenko N.I. Forecasting the state of technosphere security. Mines: ISO&P (branch) of DGTU in the city of Mines, 2015.113 s.

15. Vetrova NM, Vereha T. Technogenic noise pollution as a factor in the ecology of the territory // "Construction and technogenic safety. 2015. No1 (53). S. 120 - 123.

16. Constantin Munteanu, Moga Ligia Mihaela, Daniela Roxana Tămaş-Gavrea, Nicoleta Cobîrzan, Raluca Fernea. Protection to railway traffic noise in the case of a multilevel residential building from the city of Cluj-Napoca // *Procedia Manufacturing*, Volume 22, 2018, Pages 339 – 346

17. Bepalov V., Samarskaya N., Lysova E., Akay O. Providing acoustic comfort of built-up zones and rooms in urban planning // *MATEC Web of Conferences* 2018. C. 03010.

18. Lysova E., Paramonova O., Samarskaya N., Gyrova O., Tsarevskaya I. Application of physical and energetic approach to estimation and selection of atmospheric protection systems for energetic devices // *MATEC Web of Conferences* 2018. C. 04013.

RESEARCH OF THE PROCESS OF ACOUSTIC AIR POLLUTION AT THE ENTERPRISE OF THE
CONSTRUCTION INDUSTRY WITHIN THE PHYSICAL-ENERGY APPROACH

Bespalov¹ V.I., Gurova² O.S., Baklakova³ V.V.

Don State Technical University, Rostov-on-Don,

Russian Federation

¹ zos-rgsu@mail.ru

² okgurova@yandex.ru

³ valeriya.baclackowa@yandex.ru

Abstract. The article is devoted to the analysis of the physical nature of the process of acoustic air pollution for the clay brick workshop of the molding department of a brick factory, within the framework of the physical and energy approach. According to this approach, acoustic pollution of the air is considered as a multi-stage probabilistic process, the implementation of which depends on the physical characteristics of all the objects participating in it at each stage and the characteristics of their interaction with each other. The whole process stepwise illustrates, compiled by the authors, the physical model of acoustic pollution of the air.

Subject: process of acoustic air pollution.

Materials and methods: based on an analytical generalization of the known scientific results in the field of combating noise, the basic provisions of the theory of dispersed systems, mathematical modeling and probability theory.

Results: a physical model of the process of acoustic air pollution for brick manufacturing enterprises was built.

Conclusions: the physical model of the acoustic pollution process proposed by the authors can be used as a basis for constructing a physical model of the process of reducing acoustic air pollution and can be used in the selection of noise reduction systems that are environmentally efficient in urban areas.

Key words: acoustic pollution, noise pollution, physical model, noise protection, air pollution process

УДК 504.054

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ СОЛИ СВИНЦА В БОРФТОРИСТОВОДОРОДНОМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ НА ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ УТИЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Рипная М.М.¹, Сердюк А.²

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры г. Макеевка,
e-mail: ¹yalalova-rita@mail.ru, ²ecoalserdiuk@rambler.ru

Аннотация. Исследовано влияние составов борфтористоводородных электролитов на электрохимическую переработку отработанных свинцово-кислотных аккумуляторов. Показано, что, изменяя концентрацию свинцовой соли с 30 до 100 г/л, можно снизить уровень токсичности выбросов вредных веществ в окружающую среду при электрохимической утилизации отработанных батарей в 2 раза, а также повысить скорость переработки СКА в борфтористоводородных электролитах.

Предмет исследования: электрохимическая переработка отработанных свинцово-кислотных аккумуляторов.

Материалы и методы: экспериментальные исследования, основанные на определении допустимой плотности тока, скорости извлечения свинца, затрат энергии на его извлечение, выхода свинца по току, выбросов фторидов и свинца в атмосферный воздух, систематизация полученных данных.

Результаты: впервые изучена зависимость выбросов в атмосферу соединений фтора и свинца от состава электролитов для переработки СКА на основе борфтористоводородной кислоты.

Выводы: увеличение концентрации соли свинца в предлагаемом составе борфтористоводородного электролита уменьшает выделение удельных выбросов фторидов и свинца на тонну выделенного свинца в 2,2 раза по сравнению с ранее известным электролитом за счет увеличения скорости процесса переработки СКА в 2 раза. Электролит с повышенной концентрацией солей свинца дает меньшие концентрации токсичных веществ в 2 раза на границе СЗЗ (1000 м). При таком объеме производства (20 тыс. т) концентрации фторидов и свинца, выделяющиеся с поверхности электролитов, не превышают экологические нормативы, что говорит о возможности применения обоих составов электролитов на практике.

Ключевые слова: свинцово-кислотные аккумуляторы, утилизация, борфтористоводородный электролит, скорость, выбросы.

ВВЕДЕНИЕ

Переработка СКА – актуальная проблема современного мира. В результате промышленной деятельности предприятий и заводов вырабатывается большое количество вредных веществ. Но их вредные свойства даже при малом количестве могут нанести серьезный вред здоровью людей и экологии в целом. Этот факт вынуждает разрабатывать новые качественные методы и составы электролитов для переработки промышленных отходов, в том числе и для электрохимической переработки отработанных свинцово-кислотных аккумуляторов, которые относятся к 3 классу опасности отходов, что приводит к серьезному нарушению экологического баланса в окружающей среде.

Свинец и его соединения, входящие в состав пришедшего в негодность аккумулятора, по концентрации в воздухе относятся к 1-му классу опасности и его предельно допустимая концентрация (ПДК) в воздухе жилых помещений составляет 0,0003 мг/м³, рабочей зоны – 0,05 мг/м³ [1].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В настоящее время в мире доминируют пирометаллургические методы переработки СКА. Однако на фоне ужесточения требований к

качеству окружающей среды эти методы перестают быть приоритетными. Преимуществом электрохимических технологий переработки является то, что процессы ведутся при умеренных температурах и атмосферном давлении, электролизом на конечной стадии получается металл достаточно высокой степени чистоты, электролиз удачно сочетается с другими технологическими операциями (низкотемпературными гидро- и пирометаллургическими) [2]. К недостаткам следует отнести низкие скорости процесса переработки утильных СКА и выделение при этом вредных выбросов в атмосферный воздух.

Выбор электролита для электрохимического извлечения свинца из растворов труден: наиболее дешевые кислоты — соляная, серная и азотная для этого непригодны из-за малой растворимости солей свинца или плохой структуры катодного осадка.

Бете в 1901 г. предложил, а в 1910 г. внедрил в производство кремнефтористый электролит, состоящий из PbSiF₆ и H₂SiF₆. В 1957 г. в Италии применили для той же цели сравнительно дорогую амидосульфоновую кислоту (NH₂SO₃OH). Первый электролит токсичен и разрушает многие материалы; однако пока он преимущественно применяется при электролизе свинца, общая доля которого в мировом производстве металла составляет около 15% [3].

В работе [4] изучено влияние концентрации свинца на скорость электрохимических процессов в кремнийфтористоводородном электролите. Концентрация соли свинца в электролите менялась от 5 до 200 г/л, концентрация кремнефтористоводородной кислоты – от 20 до 30 г/л (в зависимости от концентрации свинца). Рабочая катодная плотность тока ($D_{\text{крат}}$) устанавливалась из расчета 0,8 предельно допустимой плотности тока ($D_{\text{к}}$). В процессе проведения экспериментов установлено, что повышение скорости процессов осаждения свинца на катоде и анодного растворения аккумуляторных пластин возможно путем увеличения начальной концентрации свинца в электролите, приводящего к повышению допустимой электродной плотности тока. Оптимальной концентрацией свинца в электролите является концентрация 70-100 г/л. Максимальная рабочая плотность тока составляет 460-519 А/м².

В работе [5] исследуется переработка СКА в малеиновом электролите. Этот электролит содержит более экологически чистые компоненты, но имеет очень низкую скорость процесса переработки.

Существуют также борфтористоводородные электролиты. Они отличаются высокой стабильностью, менее чувствительны к загрязнению посторонними металлами. С поверхности этого электролита в несколько раз меньше выбрасываются фториды и свинец по сравнению с кремнийфтористоводородом [6].

В статье [7] изучалась зависимость интенсивности выделения газа и вредных газообразных продуктов от приложенной плотности тока 163 А/м², 498 А/м² и 906 А/м². Для исследования использовались борфтористоводородные электролиты различного состава. Оптимальным с точки зрения скорости процесса и выделения выбросов авторы считают электролит следующего состава, г/л: Pb(BF₄)₂ – 30, HBF₄ – 180, H₃BO₃ – 30, ПАВ – 1. Максимальная рабочая плотность тока составляла 400А/м².

В работе [8] определены выбросы свинца борфтористоводородного в атмосферу при свинцевании в борфтористоводородном электролите в количестве 0,396 г/(м²·ч). Эти данные совпадают с результатами, полученными в предлагаемой работе.

Целью работы является уменьшение уровня токсичности выбросов вредных веществ в окружающую среду при электрохимической

утилизации отработанных свинцово-кислых аккумуляторов (СКА) путем изменения концентрации свинцовой соли, а также повышение скорости переработки автомобильных батарей в борфтористоводородных электролитах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Определение фторидов проводилось согласно методических указаний на фотометрическое определение фтористого водорода в воздухе [9].

Фотометрическое определение свинца и его соединений в воздухе проводилось согласно методических указаний [10].

В работе определяли допустимую плотность тока на стандартной ячейке Хулла объемом 250 мл.

В состав электролита входила борфтористоводородная кислота, борфтористоводородный свинец, борная кислота, ПАВ.

Катодом служила свинцовая пластина толщиной 0,2 см размером 4x8 см, анодом — фрагменты десульфатированных аккумуляторных решеток того же размера, обработанных перекисью водорода для восстановления диоксида свинца в оксид свинца.

Выход по току рассчитывали исходя из определенных в прямоугольной ячейке количества отложенного свинца на катоде, при определенных силе тока, напряжении и времени электролиза при температуре 40 °С.

Скорость выделения свинца на катоде, затраты энергии на выделение свинца, допустимая плотность тока определялись в работе [11].

Опыты проводились с постоянным перемешиванием на лабораторной магнитной мешалке.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Ранее было установлено [12], что количество выбросов фторидов с поверхности фтористоводородного электролита определяется, в основном, борфтористоводородной кислотой, а свинца - ее свинцовой солью. Это позволяло предложить уравнения удельных выбросов фторидов и свинца с поверхности борфтористоводородного электролита ($V_{\text{уд}}$, г/(час·м²) при 40 °С:

$$\sum V_{\text{удF}} = V_{\text{удF1}} + V_{\text{удF2}} = 5,2 \times 10^{-2} \times C_{\text{к}} + 2,1 \times 10^{-3} \times C_{\text{Pb(BF4)2}} \quad (1)$$

$$V_{\text{удPb}} = 2,7 \times 10^{-3} \times C_{\text{Pb(BF4)2}} \quad (2)$$

где $C_{\text{к}}$ – концентрация борфтористоводородной кислоты в электролите (по фтору), г/л

$C_{\text{Pb(BF4)2}}$ – концентрация соли свинца в электролите (по свинцу), г/л.

При выделении свинца на катоде происходит следующая реакция: $Pb^{2+} + 2e \leftrightarrow Pb^0$

Чем больше концентрация соли свинца, тем выше должна быть скорость его растворения. С другой стороны, чем больше концентрация соли свинца, тем медленнее должны растворяться обработанные аккумуляторные пластины. Результаты эксперимента показали, что при концентрации соли свинца в электролите 100 г/л, скорость растворенных аккумуляторных пластин превышает скорость выделенного свинца на катоде на 3-6%, т.е. последний процесс является

лимитирующей стадией, скорость которой нужно увеличивать.

В работе проводились исследования влияния концентрации соли свинца в растворе ($C_{Pb(BF_4)_2} = 30-100$ г/л) на рабочую катодную плотность тока ($D_{крab}$), скорость осаждения свинца на катоде (U , кг/(м²·час), выход свинца по току, затраты энергии на выделение свинца на катоде и выбросы фторидов с единицы поверхности электролита при постоянной концентрации борфтористоводородной кислоты равной 180 г/л при 40°C (таблица 1).

Таблица 1. Влияние концентрации соли свинца ($C_{Pb(BF_4)_2}$) на электрохимические параметры извлечения свинца из электролита при постоянной концентрации борфтористоводородной кислоты (C_{HBF_4})

Table 1. Influence of the concentration of lead salt ($C_{Pb(BF_4)_2}$) on the electrochemical parameters of the extraction of lead from the electrolyte at a constant concentration of hydrofluoric acid (C_{HBF_4})

$C_{Pb(BF_4)_2}$, Г/л	30	50	60	80	100
$D_{крab}$, А/м ²	400	520	630	745	800
Скорость осаждения свинца, кг/(м ² ·час)	1,39	1,68	1,93	2,40	2,94
Выход свинца по току, %	93,1	94,7	95,7	96,8	98,9
Затраты энергии, кВт·час/т	42	124	170	252	310
Выбросы фторидов с единицы поверхности электролита, г/(м ² ·час)	8,08	8,11	8,12	8,14	8,15
Выбросы соединений свинца с единицы поверхности электролита, г/(м ² ·час)	0,02	0,07	0,09	0,12	0,16
Удельные выбросы фторидов с единицы поверхности электролита, приходящиеся на 1 кг выделенного свинца, г·м ² (катода)/кг· м ² (поверхности электролита)	5,81	4,83	4,21	3,39	2,77
Удельные выбросы соединений свинца с единицы поверхности электролита, приходящиеся на 1 кг выделенного свинца, г·м ² (катода)/кг· м ² (поверхности электролита)	0,01	0,04	0,048	0,05	0,054

Удельные выбросы фторидов (свинца) с единицы поверхности электролита, приходящиеся на 1 кг выделенного свинца рассчитывали как частное от деления величины выбросов фторидов (свинца) с единицы поверхности электролита на скорость осаждения свинца

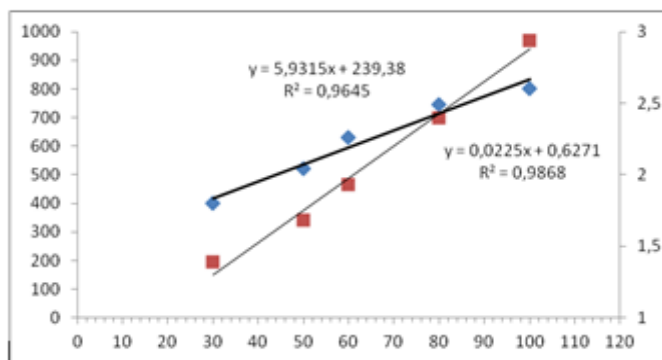
С увеличением концентрации соли свинца в растворе, происходит небольшой рост выбросов фторидов с поверхности электролита на 2,5 % (таблица 1), что следует из уравнения 1. Но при этом увеличивается скорость осаждения свинца на катоде

в 2,1 раза. Результаты, полученные по количеству удельных выбросов фторидов и соединений свинца с единицы поверхности электролита, приходящиеся на 1 кг выделенного свинца, показывают их уменьшение в 2,1 раза при увеличении концентрации соли свинца с 30 до 100 г/л.

Также построены зависимости рабочей катодной плотности тока и скорости осаждения свинца на катоде от концентрации соли свинца в электролите при 40°C (рисунок 1).

$D_{к раб.}$, А/м²

U , кг/(м²·час)



$C_{Pb(BF_4)_2}$, Г/л

Рис. 1. Зависимости рабочей катодной плотности тока ($D_{крab}$) и скорости осаждения свинца на катоде (U) от концентрации соли свинца в электролите ($C_{Pb(BF_4)_2}$) при 40°C

Fig. 1. Dependences of the working cathode current density (D_{crab}) and the rate of lead deposition on the cathode (U) on the concentration of lead salt in the electrolyte ($C_{Pb(BF_4)_2}$) at 40°C

Из полученных результатов (рисунок 1) видно, что рост скорости осаждения свинца на катоде несколько более сильный, чем рост рабочей катодной плотности тока с увеличением концентрации соли свинца в электролите. Это можно объяснить повышением выхода свинца по току с 93 до 99 %.

В этих условиях также резко увеличиваются затраты энергии на выделение свинца на катоде в 7,4

раза (таблица 1). По-видимому, это связано с затратами энергии на нагрев электролита с ростом рабочей катодной плотности тока. В связи с этим, было изучено влияние тока на поддержание температуры в ячейке без внешнего подогрева. Эксперимент проводили при катодных плотностях тока 800 А/м², 400 А/м² и без подачи тока (рисунок 2). Комнатная температура - 19,5°С. Исходная температура электролита – 40 °С.

T, °C

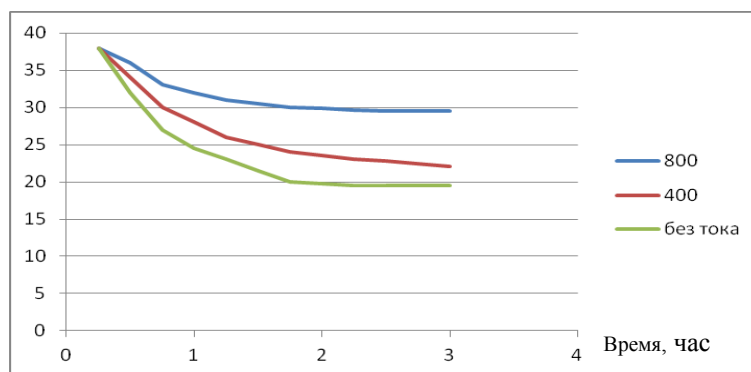


Рис. 2. Скорость остывания электролита в ячейке в зависимости от плотности приложенного тока

Fig. 2. The rate of cooling of the electrolyte in the cell depending on the density of the applied current

Согласно рисунку 2, видно, что затраты электроэнергии растут с увеличением допустимой плотности, но это не приводит к нагреву электролита выше 40 °С, то есть энергия не теряется зря.

Т.к. в настоящее время в ДНР автомобильные аккумуляторы не перерабатываются, а всего лишь складываются, то проведена оценка воздействия проектируемого потенциально опасного объекта на окружающую среду. В качестве примера были выбраны технологические параметры металлургического производства ООО «АКОМ-Инвест» (г. Тольятти, Россия). Производительность предприятия составляет 20 тыс. тонн аккумуляторного лома в год. Место расположения промплощадки предприятия выбрано в Петровском районе г. Донецка и согласовано с Донецким государственным научно-исследовательским и проектным институтом цветных металлов (ДонНИПИЦМ).

Процесс растворения свинцовых пластин аккумулятора протекает 7 суток при плотности катодного тока 400 А/м², и 3,5 суток при плотности катодного тока 800 А/м². Вес чистого свинца и его соединений (в пересчете на свинец) в исследуемом аккумуляторе составляет 15,1 кг. В работе использовали электрохимические ванны, внутренние размеры которых составляли, мм: 750 x 1300 x 800, вмещающие 10 шт. АБК. Общая площадь гальванических ванн составит 131,3 м² (при плотности катодного тока 400 А/м²). При

плотности тока, равной 800 А/м², количество электрохимических ванн уменьшается вдвое за счет более высокой скорости переработки. Поэтому площадь гальванических ванн равна 65,6 м².

Расчет рассеивания загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах предприятия в атмосферном воздухе, производился с помощью программы УПРЗА «Эколог» [13].

Для определения опасности загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха выбросами вредных веществ рассчитываем наибольшую концентрацию этих веществ в расчётной точке – на границе санитарно-защитной зоны, соответствующей наиболее неблагоприятным метеорологическим условиям (когда скорость ветра достигает опасного значения, наблюдается интенсивный вертикальный турбулентный обмен). Размер санитарно-защитной зоны для предприятий по переработке аккумуляторов – 1000 метров [14].

Для выявления вклада предприятия в загрязнение приземного слоя атмосферы, в соответствии с рекомендациями нормативных документов, фоновые концентрации принимаются равными нулю.

Наибольшая допустимая концентрация каждого вредного вещества в расчётной точке приземного слоя атмосферы определяется по формуле $C \leq ПДК$.

Расчёт рассеивания вредных веществ, содержащихся в выбросах, проведен на основе приведенных параметров выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (таблица 2).

Таблица 2. Характеристика параметров выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при электрохимической переработке отработанных аккумуляторов

Table 2. Characteristics of the parameters of emissions of pollutants into the atmosphere during the electrochemical processing of used batteries

Наименование объекта	Источник выделений	Максимальная высота, м	Параметры газозвушной смеси			Вредные вещества	Количество выбросов	
			Скорость, м/с	Объем, м ³	Температура, °С		г/с	т/год
Производство по переработке СКА	Борфтористоводородный электролит № 1 (состав, г/л: HBF ₄ = 180, Pb(BF ₄) ₂ = 30, H ₃ BO ₃ = 30, ССБ-1)	20	2	0,39	37	Фториды	0,29	9,145
						Свинец	0,0016	0,05
	Борфтористоводородный электролит № 2 (состав, г/л: HBF ₄ = 180, Pb(BF ₄) ₂ = 100, H ₃ BO ₃ = 30, ССБ-1)	20	2	0,39	37	Фториды	0,127	4,01
						Свинец	0,0041	0,129

Расчет рассеивания фторидов и свинца был проведен для условий переработки СКА.

Результаты расчета рассеивания фторидов и свинца с поверхности исследуемых электролитов представлены на рисунках 3,4.

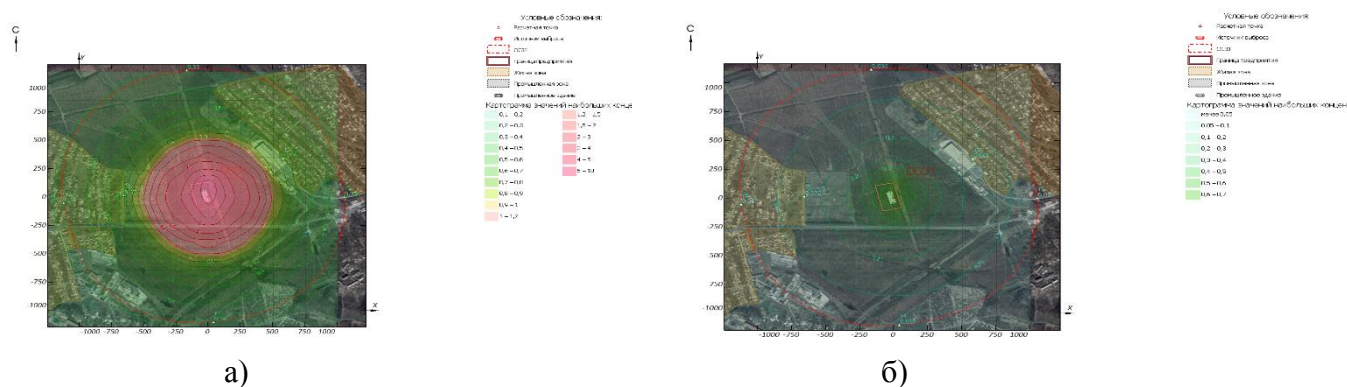


Рис. 3. Карта рассеивания соединений фторидов (а) и свинца (б), выделяющихся с поверхности борфтористоводородного электролита № 1 (масштаб 1:20000) при плотности тока 400 А/м²

Fig. 3. Dispersion map of (a) fluoride and (b) lead compounds released from the surface of hydrofluoride electrolyte No. 1 (scale 1: 20000) at a current density of 400 A / m²

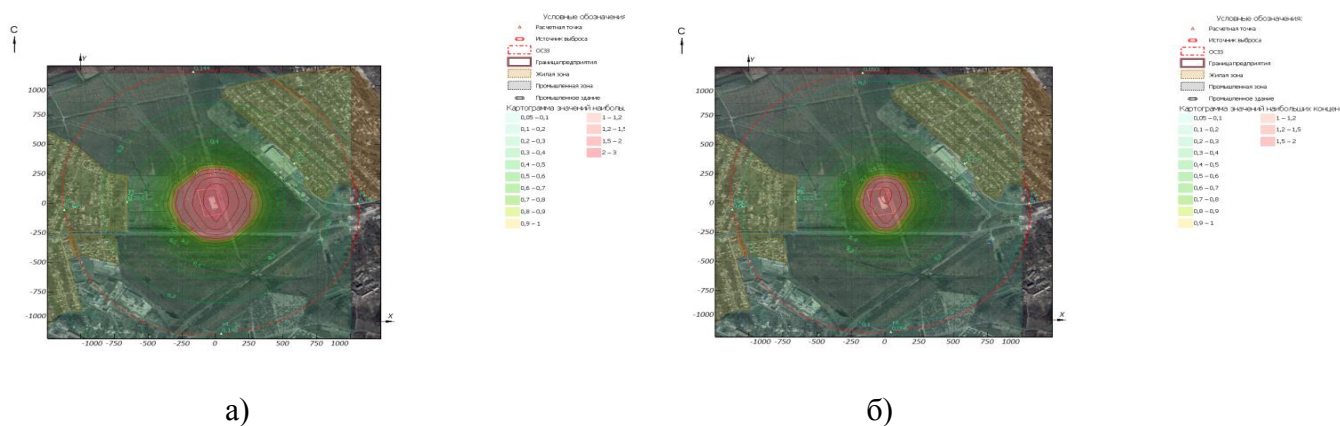


Рис. 4. Карта рассеивания соединений фторидов (а) и свинца (б), выделяющихся с поверхности борфтористоводородного электролита № 2 (масштаб 1:20000) при плотности тока 800 А/м²

Fig. 4. Dispersion map of (a) fluoride and (b) lead compounds released from the surface of hydrofluoride electrolyte No. 2 (scale 1: 20000) at a current density of 800 A / m²

Согласно «Рекомендаций по разработке проектов санитарно-защитных зон промышленных предприятий, групп предприятий» [15] в случае, когда значения максимальных приземных концентраций на границе нормативной СЗЗ и на границе селитебной зоны не превосходят 0,8ПДК можно считать, что СЗЗ обеспечивает достаточное воздействие выбросов рассматриваемого загрязняющего вещества предприятием на качество атмосферного воздуха.

Расчет рассеивания фторидов, выделяющихся с поверхности борфтористоводородного электролита № 1, в приземном слое атмосферы показал, что их концентрация на границе санитарно-защитной зоны (1000 м) составляет 0,36 ПДК, свинца – приблизительно 0,04 ПДК.

Концентрация на границе санитарно-защитной зоны фторидов, выделяющихся с поверхности борфтористоводородного электролита № 2 в приземном слое атмосферы составляет 0,16 ПДК, свинца - 0,10 ПДК.

Таблица 4. Результаты расчета рассеивания
Table 4. Results of scattering calculation

Наименование электролита	Наименование загрязняющего вещества	Концентрация на границе СЗЗ, дПДК	Концентрация на границе жилой зоны, дПДК
Борфтористоводородный № 1	Фтора газообразные соединения	0,36	0,65
	Свинец и его соединения	0,04	0,07
Борфтористоводородный № 2	Фтора газообразные соединения	0,16	0,28
	Свинец и его соединения	0,10	0,18

Согласно данным таблицы 4, видно, что выбросы фторидов с поверхности электролита № 1 в 2,2 раза выше, чем с поверхности электролита № 2, свинца – выше в 2,5 раза, однако концентрация свинца и его соединений составляет незначительную долю.

Так как выбрасываемые вредные вещества, выделяющиеся с поверхности борфтористоводородных электролитов, не превышают действующие нормативы, считаем целесообразным применение этих электролитов на практике, с целью повышения производственной мощности предприятия.

ВЫВОДЫ

1. Увеличение концентрации соли свинца в предлагаемом составе борфтористоводородного электролита уменьшает выделение удельных выбросов фторидов и свинца на тонну выделенного свинца в 2,2 раза по сравнению с ранее известным электролитом за счет увеличения скорости процесса переработки СКА в 2 раза.

2. Электролит с повышенной концентрацией солей свинца дает меньшие концентрации токсичных веществ в 2 раза на границе СЗЗ (1000 м). При таком объеме производства (20 тыс. т) концентрации фторидов и свинца, выделяющиеся с поверхности электролитов, не превышают экологические нормативы, что говорит о возможности применения обоих составов электролитов на практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. М.: Минздрав России. 2018. 204 с.
2. Фесина М. И. Информационный анализ инновационных технологий утилизационной переработки автомобильных аккумуляторных батарей / М. И. Фесина [и др.] // Вектор науки Тольят. гос. ун-та. 2015. № 3. ч.1. С. 135-140.
3. На рынке свинца в 2019 г. прогнозируется дефицит вместо избытка - 30.10.19 / Новости /Металл «Индекс» [Электронный ресурс]. М.: ИИС«Металлоснабжение и сбыт». Режим доступа: <https://www.metalinfo.ru/>
4. Исаева-Парцвания Н. В., Сердюк А.И., Дубовик И.В., Козловская Т.Ф., Жадан А.П. Извлечение свинца из свинецсодержащих аккумуляторных пластин электрохимическим методом // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. Кременчук. 2005. № 2/2005 (31). С. 95-98.
5. Назарова М.В. Проблемы использования экологически чистого электролита для переработки автомобильных аккумуляторов / М.В. Назарова, А.И. Сердюк, С.П. Зырянов // Журнал «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе». Издательство: Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Пермь). 2018. С. 82-85.
6. Ялалова М.М. Прогнозирование загрязнения атмосферы фторидами и свинцом при электрохимических процессах переработки аккумуляторов. / Ялалова М.М., Сердюк А.И.// Кадастр недвижимости и мониторинг природных

ресурсов 4-я Международная научно – техническая Интернет – конференция / под общей редакцией И. А. Басовой. Изд-во: ТулГУ. 2019. С. 71-74.

7. Назарова В. В., Дмитриевич А. В. Исследование интенсивности выделения газа на электродах и выделения фторидов при переработке свинцово-кислотных аккумуляторов с целью определения безопасных параметров процесса / В. В. Назарова, А. В. Дмитриевич // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Makeevka, 2011. С. 45-51.

8. Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределение в воздухе. Справ. изд. М.: Химия, 1991. 368 с.

9. МУК 4.1.1342-03 Измерение массовой концентрации гидрофторида (фтористого водорода) в воздухе рабочей зоны фотометрическим методом. М.: Минздрав России. 2003. 11 с.

10. МУ 2013-79 Методические указания на фотометрическое определение свинца и его соединений в воздухе. М.: Минздрав России. 1979. 25 с.

11. Ялалова М. М. Разработка путей очистки промывочных вод гальванического производства от соединений свинца. / Ялалова М. М., Солдатов С.А., Сердюк А.И. // Научно-техн. журнал «Строительство и техногенная безопасность». Симферополь: ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского». 2019. № 14(66). С. 113 - 120.

12. Ялалова М.М. Промышленная безопасность при эксплуатации борфтористоводородного электролита для утилизации свинцово-кислотных аккумуляторов / М.М. Ялалова, А.И. Сердюк // Журнал «Транспорт. Транспортные сооружения. Экология». Пермь: ПНИПУ. 2019. № 1. С. 70-77.

13. ОНД-86. Госкомгидромет. Методика расчета концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Л.: Гидрометеиздат. 1987. 94 с.

14. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. М.: Минздрав России. 2007. 31 с.

15. Рекомендации по разработке проектов санитарно-защитных зон промышленных предприятий, групп предприятий. Москва: Издательство Российского экологического федерального информационного агентства. 1998. 82 с.

REFERENCES

1. GN 2.2.5.3532-18 Maximum permissible concentration (MPC) of harmful substances in the air of the working area. М.: Ministry of Health of Russia. 2018. 204 p.

2. Fesina MI Information analysis of innovative technologies for the recycling of car batteries / MI Fesina [et al.] // Vector science Togliat. state un-that. 2015. No. 3. Part 1. p. 135-140.

3. In the lead market in 2019, a deficit is forecasted instead of an excess - 10/30/19 / News / Metal "Index" [Electronic resource]. М.: IIS "Metal supply and sales". Access mode: <https://www.metalinfo.ru/>

4. Isaeva-Partsvania N. V., Serdyuk A. I., Dubovik I. V., Kozlovskaya T. F., Zhadan A. P. Extraction of lead from lead-containing battery plates by the electrochemical method // Bulletin of the Kremenchutsk State Polytechnic University. Kremenchuk. 2005. No. 2/2005 (31). p. 95-98.

5. Nazarova M.V. Problems of using environmentally friendly electrolyte for the processing of car batteries / M.V. Nazarova, A.I. Serdyuk, S.P. Zyryanov // Journal "Modernization and Scientific Research in the Transport Complex". Publisher: Perm National Research Polytechnic University (Perm). 2018. p. 82-85.

6. Yalalova M.M. Prediction of air pollution by fluorides and lead during electrochemical processes of battery processing. / Yalalova M.M., Serdyuk A.I. // Real estate cadastre and monitoring of natural resources 4th International scientific and technical Internet conference / edited by I.A. Basova. Publishing house: TulSU. 2019. p. 71-74.

7. Nazarova V.V., Dmitrovich A.V. Investigation of the intensity of gas evolution at electrodes and fluoride emission during processing of lead-acid batteries in order to determine the safe process parameters / V.V. Nazarova, A.V. Dmitrovich // Bulletin of Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture. Makeevka, 2011. p. 45-51.

8. Tishchenko N.F. Protection of atmospheric air. Calculation of the content of harmful substances and their distribution in the air. Ref. ed. Moscow: Chemistry, 1991. 368 p.

9. MUK 4.1.1342-03 Measurement of the mass concentration of hydrofluoride (hydrogen fluoride) in the air of the working area by the photometric method. М.: Ministry of Health of Russia. 2003. 11 p.

10. MU 2013-79 Guidelines for the photometric determination of lead and its compounds in air. М.: Ministry of Health of Russia. 1979. 25 p.

11. Yalalova MM Development of ways to purify flushing waters of galvanic production from lead compounds / Yalalova MM, Soldatov SA, Serdyuk AI // Scientific and technical. magazine "Construction and Technogenic Safety". Simferopol: FGAOU VO "KFU named after IN AND. Vernadsky ". 2019. No. 14 (66). p. 113 - 120.

12. Yalalova M.M. Industrial safety in the operation of boron fluoride electrolyte for the disposal of lead-acid batteries / M.M. Yalalova, A.I. Serdyuk // Transport. Transport facilities. Ecology". Perm: PNRPU. 2019. No. 1. P. 70-77.

13. ОНД-86. Госкомгидромет. Methodology for calculating the concentration in the atmospheric air of harmful substances contained in the emissions of enterprises. Л.: Hydrometeoizdat. 1987. 94 p.

14. SanPiN 2.2.1 / 2.1.1.1200-03 Sanitary protection zones and sanitary classification of

enterprises, structures and other facilities. M.: Ministry of Health of Russia. 2007. 31 p.

15. Recommendations for the development of projects of sanitary protection zones of industrial

enterprises, groups of enterprises. Moscow: Publishing house Russian Environmental Federal Information Agency. 1998. 82p.

INFLUENCE OF LEAD SALT CONCENTRATION IN HYDROBORFLUORIDE ELECTROLYTE ON ITS OPERATING AND ENVIRONMENTAL PARAMETERS DURING ELECTROCHEMICAL PROCESSING OF WASTE AUTOMOTIVE BATTERIES

Ripnaya¹ M.M., Serdyuk² A.

¹State educational institution of higher professional education "Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture", assistant of the department "Technosphere Safety", 286123, Makeevka, st. Derzhavin, 2,

e-mail: ¹yalalova-rita@mail.ru, ²ecoalserdiuk@rambler.ru

Annotation. The effect of the compositions of hydrofluoride electrolytes on the electrochemical processing of used lead-acid batteries has been studied. It is shown that by changing the concentration of lead salt from 30 to 100 g / l, it is possible to reduce the toxicity level of emissions of harmful substances into the environment during the electrochemical disposal of used batteries by 2 times, and also to increase the rate of processing of SCA in hydrofluoric electrolytes.

Subject of research: electrochemical processing of used lead-acid batteries.

Materials and methods: experimental studies based on the determination of the permissible current density, the rate of lead extraction, the energy consumption for its extraction, the current yield of lead, the emissions of fluorides and lead into the atmospheric air, the systematization of the data obtained.

Results: for the first time the dependence of emissions of fluorine and lead compounds into the atmosphere on the composition of electrolytes for the processing of SCA based on hydrofluoric acid was studied.

Conclusions: an increase in the concentration of lead salt in the proposed composition of hydrofluoride electrolyte reduces the release of specific emissions of fluorides and lead per ton of lead released by 2.2 times as compared to the previously known electrolyte due to an increase in the rate of the SCA processing process by 2 times. An electrolyte with an increased concentration of lead salts gives 2 times lower concentrations of toxic substances at the border of the SPZ (1000 m). With such a production volume (20 thousand tons), the concentrations of fluorides and lead emitted from the surface of electrolytes do not exceed environmental standards, which indicates the possibility of using both electrolyte compositions in practice.

Key words: lead-acid batteries, disposal, hydrofluoride electrolyte, speed, emissions.

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА МАГНИТОГОРСКА В УСЛОВИЯХ ПОСТОЯННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ВЫБРОСОВ ИЗ ЦЕХОВ МАТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА В АТМОСФЕРУ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Федосихин ¹ В.С., Шенцова ² О.М.

¹ ФГБОУ ВО "Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова", Россия, Челябинская обл. г. Магнитогорск, пр. Ленина 38, e-mail: FedosVS@yandex.ru

² ФГБОУ ВО "Южно-уральский государственный гуманитарно-педагогический университет", Россия, г. Челябинск, пр. Ленина, 69, e-mail: shenolga@yandex.ru

Аннотация. Обеспечение и поддержание экологической безопасности городского населения, почти сто лет обслуживающего Магнитогорский металлургический комбинат (ММК) и другие промышленные объекты Магнитогорска, выбрасывающие в атмосферу воздуха тысячи тонн в год техногенных веществ, постоянно находится в центре внимания руководителей, общественности и деятелей науки. В статье рассмотрена исторически сложившаяся в городе экологическая ситуация в условиях постоянного резкого континентального микроклимата и многие годы устойчивого направления западных ветров. С начала строительства и до 40-ых годов XX столетия ММК, а также жилые участки и посёлки строящегося Магнитогорска размещались компактно на восточном левом берегу реки Урал, между ММК и горой Магнитная без учёта особенностей ветрового режима. Во время Великой Отечественной войны и вплоть до настоящего времени, селитебная часть города застраивается вдоль побережья правого берега в южном направлении, оставив на левом берегу около сотни тысяч жителей, которые мечтают переехать на правобережье. При этом ММК территориально развивается вдоль левого берега реки в северном направлении, которое закрывается цементным заводом, а вся жилая зона застраивается вдоль реки в южном направлении. Появились новые стационарные источники, выбрасывающие техногенные вещества в жилую застройку, что в сложившейся ситуации изменили городские аэрационные ветровые потоки. Сегодня не все правобережье города сохраняет относительную чистоту атмосферного воздуха, что и требует продолжения научных исследований поиска для дальнейшего устойчивого развития города. Авторами статьи была построена роза загрязнения территории, наложив которую на план города, были найдены части города, имеющие минимальное число дней в году, когда пыль от стационарных источников попадает в данную жилую застройку города. Исходя из этого был сделан вывод, что в направлении данных частей следует развивать селитебную часть города.

Предметом исследования является изучение уровня загрязнения атмосферы воздуха в условиях постоянных техногенных выбросов вредности из городских стационарных источников в жилую застройку селитебной зоны правобережной части Магнитогорска с целью создания устойчивого развития городской среды.

Материалы и методы. Были проанализированы научные материалы и труды, посвященные вопросам истории, градостроительства и экологии города Магнитогорска. Был проведён анализ климатических условий, направлений и скорости ветра в Магнитогорске, их сезонное изменение в течение года, а также количество валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу воздуха (в тыс. тонн) с 2000 по 2019 года ММК. Чтобы выявить влияние массы загрязняющих выбросов на здоровье жителей была разработана роза ветрового загрязнения территории от каждого стационарного источника, выбрасывающего в атмосферу воздуха техногенные вредности, и предложен метод для определения уровня загрязнения территории число дней в году, что позволило ранжировать территорию правобережья и рекомендовать пересмотр генплана селитебной зоны этой части Магнитогорска.

Результатом стала разработка концепции градостроительной реконструкции генплана Магнитогорска с учетом уровня загрязнения территории города вредными веществами, выбрасываемыми в атмосферу воздуха металлургическим комбинатом (70%) и другими стационарными источниками.

Выводы. Разработана карта генплана Магнитогорска, на которой показана территория для строительства жилых районов и городских посёлков, где существует минимальное число дней в году, характеризующие уровень загрязнения атмосферы воздуха от стационарных источников.

Ключевые слова: Магнитогорск, Магнитогорский металлургический комбинат, экологическое градостроительство, экология городской среды, градостроительный план

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение и поддержание экологической безопасности городского населения, проживающего в промышленном городе совместно с крупным градообразующим предприятием в условиях постоянного выброса в атмосферу воздуха техногенных пыли и газов, всегда была и является сегодня одной из актуальных проблем экологической архитектуры металлургических городов, в том числе и Магнитогорска. В соответствии с данными экологической статистики,

ежегодно в Российской Федерации только в атмосферный воздух городов (не считая загрязнения почв и вод) поступает свыше 30 млн тонн химических выбросов производства и более 20 млн тонн выхлопных газов, что соответствует 400 кг «вредной химии» в расчете на одного человека. Кроме того, количество токсических веществ превышает ПДК в атмосфере в 5–10 раз в 73% городов нашей страны, население которых превышает 50 млн человек [2, с. 590].

В настоящее время при обсуждении очередных архитектурных проектов на градостроительных советах в администрации городов уделяется больше

внимания социальным и экономическим проблемам, при этом экологическая безопасность объекта практически не рассматривается. Бесспорно, что внешний вид городской среды, его экономика имеют большое значение, но с постоянным развитием промышленного производства, транспортного уплотнения и других техногенных факторов, город становится своеобразным местом для скопления пыли, газов, электромагнитных излучений и других отходов технологического прогресса. Магнитогорск, население которого составляет 413 тысяч человек, не стал исключением, поскольку в нём базируется крупнейшая металлургическая промышленность страны.

Цель исследования — разработка концепции градостроительной реконструкции генплана Магнитогорска с учетом уровня загрязнения территории города вредными веществами, выбрасываемыми в атмосферу воздуха металлургическим комбинатом (70%) и другими стационарными источниками.

Предмет исследования — является изучение уровня загрязнения атмосферы воздуха в условиях постоянных техногенных выбросов вредности из городских стационарных источников в жилую застройку селитебной зоны правобережной части Магнитогорска с целью создания устойчивого развития городской среды.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Теорию и методологию вопроса необходимо рассматривать со дня возникновения города на западном склоне рудосодержащей горы Магнитной. Авторами статьи были изучены практически все существующие труды краеведов, искусствоведов, строителей и архитекторов, посвященных первому в стране Советов социалистическому Магнитогорску. К ним относятся работы В.П. Баканова, П.Н. Блохина, В.Н. Богуна, Л.О. Бумажного, Л.Н. Воробьевой, И.Ф. Галигузова, Г.И. Гончаровой, Б.В. Данчича, А.Г. Дегтярёва, В.Э. Дымшица, З.Н. Нестеровой, В.И. Казариновой, Е.К. Казаневой, Л.О. Лисенко, М.Г. Морозова, М.Г. Меерович, В.И. Павличенкова, И.Н. Рожковой, В.С. Федосихина, В.В. Хорошанского, М.Е. Чурилина и др. [7,14].

Исследованием вопросов градостроительства и планировки Магнитогорска и других советских промышленных городов занимались Е.В. Аркаев, К. Баранов, Б.В. Владимиров, М.Н. Дудин, Е.В. Коньшева, Н.Н. Маркова, Д.Д. Хисматуллина, Д.С. Хмельницкий и др. [1,7,17].

В первую очередь авторы статьи опирались на труды по градостроительной экологии В.В.Владимирова, М.Н.Демина, В.Л.Глазычева, А.Г.Григоряна, В.А. Григорьева, К. Доксиадиса, А.С. Колесникова, В.А.Колясникова, Б. Коммонера, Я. Мак-Харга, Е.М.Микулиной, П. Солери, В.С. Федосихина, С.Б.Чистяковой, О.М. Шенцовой, О.Н. Яницкого и др. [1, 16, 18, 20].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

После проведенного анализа опубликованных трудов по проблеме исследования было решено продолжить экологический анализ истории градостроительства Магнитогорска, который осуществлялся с 80-х годов на кафедре архитектуры МГТУ им. Г.И.Носова [14]. Это позволило сформировать принципы и закономерности экологического компонента в условиях дальнейшего развития жилой застройки городской среды при постоянного воздействия на жителей пылегазовых выбросов Магнитогорского металлургического комбината (ММК). Для этого проводились градостроительное исследование генеральных планов Магнитогорска с разработкой теоретической модели и поиска научных принципов развития его градостроительной экологии в XXI веке. Они включали:

- численность города, включая характер социального распределения жителей в его градостроительной системе;

- наличие крупного металлургического предприятия, выбрасывающего в атмосферу воздуха техногенные вещества в большом количестве;

- характер размещения по городу селитебных территорий относительно производственных предприятий;

- направление и скорость ветров в пределах города, в том числе количество штилей;

- природный и архитектурный каркас, включая городскую ткань, вертикальных и горизонтальных площадей зелёных насаждений.

Все они в конечном счёте сводятся к составу, концентрации и объёму, техногенных веществ, которые от работающей, далеко не совершенной, техники выбрасываются в окружающую среду. Можно, конечно, свести к минимуму загрязнение воздуха в ней, решая градостроительную задачу путём удаления металлургического производства от селитебной территории, используя приём дезурбанизации и вахтенный метод работы с техникой. На основе анализа генеральных планов Магнитогорска, разработанных на протяжении столетия, был обобщён опыт взаимозависимости градостроительного решения и планировочных элементов города от аэрации его пространства, учитывающего направление, повторяемость и скорость ветров в тёплый и холодный периоды года [20]. Это позволило выявить уровни загрязнения атмосферы воздуха элементов городской территории, построить теоретическую (графическую) модель и разработать алгоритмы, обеспечивающие условия для организации устойчивого развития территории. Были разработаны рекомендации на дальнейшее совершенствование генерального плана Магнитогорска и установлена зависимость устойчивого развития территории новых районов города, учитывающих принципы защиты населения

от пылегазовых выбросов с ММК и других стационарных источников загрязняющих атмосферу. Это направление в градостроительной экологии даёт возможность осуществить поиск планировочного решения городской территории, опираясь на ряд выявленных принципов, учитывающих запыление районов выбросами с ММК [15, 16].

Город становится символом социалистического преобразования общества, воплотив в свою застройку достижения теории мирового градостроительства. История этого города, появившегося на Южном Урале в начале XX века, предоставила богатый опыт градостроительства в процессе своего не продолжительного, но активного развития. Это позволило увидеть не только смену теоретических концепций в ходе мощного роста городского населения, но и осуществить анализ результатов практического строительства жилища в нём, удовлетворяющего требования подрастающего поколения. Изучение истории объекта позволили найти закономерности в теории социалистического градостроительства, в использовании особенностей образовавшегося магнитогорского территориального микроклимата и в ухудшении экологической ситуации. Всё это следует применять в новых постсоветских условиях развития Магнитогорска [17]. "Без истории предмета нет теории предмета, но и без теории предмета нет даже мысли об его истории, потому что нет понятия о предмете, его значении и границах", — записал в своё время Н.Г.Чернышевский [19].

Первые 10 лет, начиная с 1918 года и вплоть до начала строительства шло проектирование ММК у

подножья рудосодержащей горы Магнитной. Генеральный план завода разрабатывался в Америке фирмой "Артур Дж. Макки и К°" и дорабатывался Свердловским Уралгипрометом. Лишь в декабре 1928 года сессия техсовета Гипромета ВСНХ СССР рассмотрела несколько проектов нового завода и утвердила свердловский проект. Далее его одобрили ВСНХ и СНК СССР, после чего 31 января 1929 года вышел приказ о начале строительства металлургического завода между левобережной стороной реки Урал и горой Магнитной. Был найден относительно ровный участок для размещения завода, который огородили, построили проходные, через которые по бригадно пропускали на завод рабочих. Прибывающие на строительство первостроители были разделены на категории и селились изолировано друг от друга. Так на основе эскизов в период 30-45 годах вблизи к территории завода появились 14 жилых участков и городские посёлки Железнодорожников, Новосеверного, Новотуково, Калибровщиков, Димитрово, Брусковского, Берёзки, Новогорняцкого с общей численностью населения около 70 тысяч. Большим преимуществом их размещения считается близость к местам производственной деятельности, но вследствие кризисного уровня загрязнения среды, влияющего на здоровье молодёжи и на рост бесплодных браков, там наблюдается очень низкая рождаемость детей [5].

В это же время архитекторы проектировали варианты генеральных планов социалистического Магнитогорска. На них появились розы ветров (рис.1).

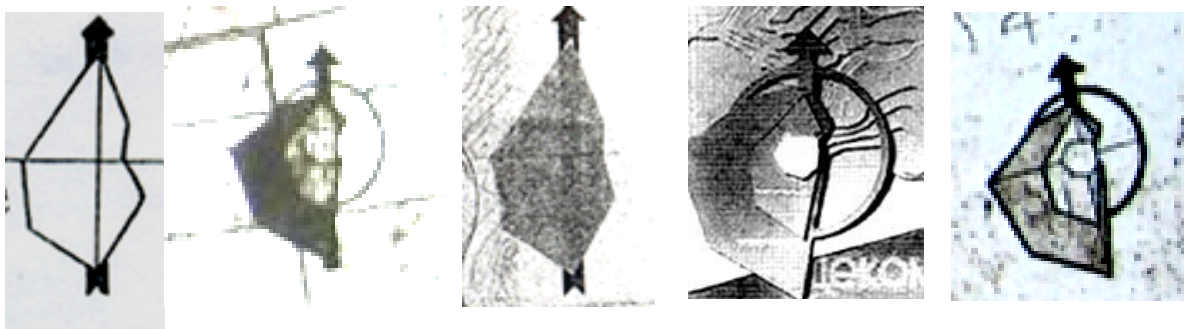


Рис. 1. Графические изображения розы ветров на генеральных планах Магнитогорска в 30-х годах

Fig. 1. Graphic images of the wind rose on the general plans of Magnitogorsk in the 30s

Их представили Эрнсту Маю, руководителю мастерской, работники Уралоблгидрометбюро, которые "и отметили несколько весьма существенных моментов относительно разработанных генпланов, а именно:

–выбор места для завода и города проходил без участия органов здравоохранения;

–в принятом левобережном варианте не учтены или совершенно игнорированы метеоусловия.

–левый берег является наиболее неудовлетворительным с точки зрения санитарно-

гигиенических требований, поскольку на левобережную часть города дует 25 процентов ветров с ММК, а на правый - лишь 9 процентов [3].

В конце 1933 года вышло Постановление СТО СССР о необходимости дальнейшего проектирования города на правом берегу реки Урал. Разработка проекта генерального плана правобережья была поручена Ленинградскому отделению институту Горстройпроекта, главным архитектором которого был Б.В. Данчич. Он представил в НТС НККХ РСФСР проект

планировки с расчетной численностью населения в 300 тыс. жителей в 1934 году. Правобережная часть города предназначалась для работников ММК, тогда как в левобережной части города должны были расселиться работники горнорудного хозяйства. На протяжении 6 лет архитектурная бригада под руководством Б.В. Данчича разработала несколько вариантов проекта, один из которых в 1940 г. был утвержден. В 1947 году Совмин РСФСР утвердил генеральный план послевоенного Магнитогорска рассчитанный на 275 тысяч жителей, разработанный авторским коллективом Ленинградского отделения Гипрогора, в состав которого вошёл и главный архитектор Магнитогорска М. Дудин.

К 1980 году ежегодно возрастающая мощность ММК она достигла 16 млн. тонн стали в год. Жилая застройка в правобережной части города быстро увеличивалась, перемещаясь на юг. Жители начали ощущать влияние техногенных выбросов с ММК. И повторно в 70-х годах снова встала проблема защиты населения города от пылегазовых выбросов с предприятия. Магнитогорскими архитекторами было предложено воспользоваться ранее разработанными градостроительными проектами архитекторов М.О. Барща и И.И. Леонидова. Было рекомендовано развивать строительство селитебной зоны города вдоль берега реки Малый Кизил в северо-западном направлении до озера Банное (40 км от города). Но не было принято и только сегодня эта идея постепенно воплощается в жизнь. Появились частные поселения в северо-западном направлении, тогда как Магнитогорск продолжался развиваться в южном направлении вдоль реки Урал. Сегодня только 20% жителей, которые имеют жильё в западной и северо-западной части правобережья (Ленинский район), практически не ощущают вредности ММК, за исключением дней, когда в городе стоит смог. Остальные 75% жителей постоянно находятся под воздействием техногенных выбросов комбината. И тогда было предложено новое градостроительное решение целевой задачи.

В констатирующей части исследования были проанализированы многочисленные материалы и научные исследования по данной теме. Много лет г. Магнитогорск входил в десятку самых загрязнённых экологически грязных городов России. В отчётах ПАО "ММК" с 2000 по 2019 годы представлена динамика снижения валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу городского воздуха с 318,5 тыс. тонн до 197 тыс. тонн в год. Специалисты металлургического профиля уверены, что загрязнение атмосферы воздуха металлургическим производством явление временное и к 2025 году Магнитогорск будет очищен от заводских техногенных выбросов. С целью реализации экологической политики утверждена и принята к исполнению долгосрочная «Экологическая программа ОАО «ММК» до 2025 года», одной из целей которой является - снижение

к 2025 году комплексного индекса загрязнения атмосферы (КИЗА) города Магнитогорска до уровня 5 единиц [12, с. 75]. В государственном докладе "О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году" Министерства природных ресурсов и экологии РФ представлен перечень российских городов, где в 2018 году был зафиксирован наибольший уровень загрязнения атмосферы воздуха [4]. В этот список вошли все крупные металлургические комбинаты и заводы. Магнитогорск же в этот перечень не вошел.

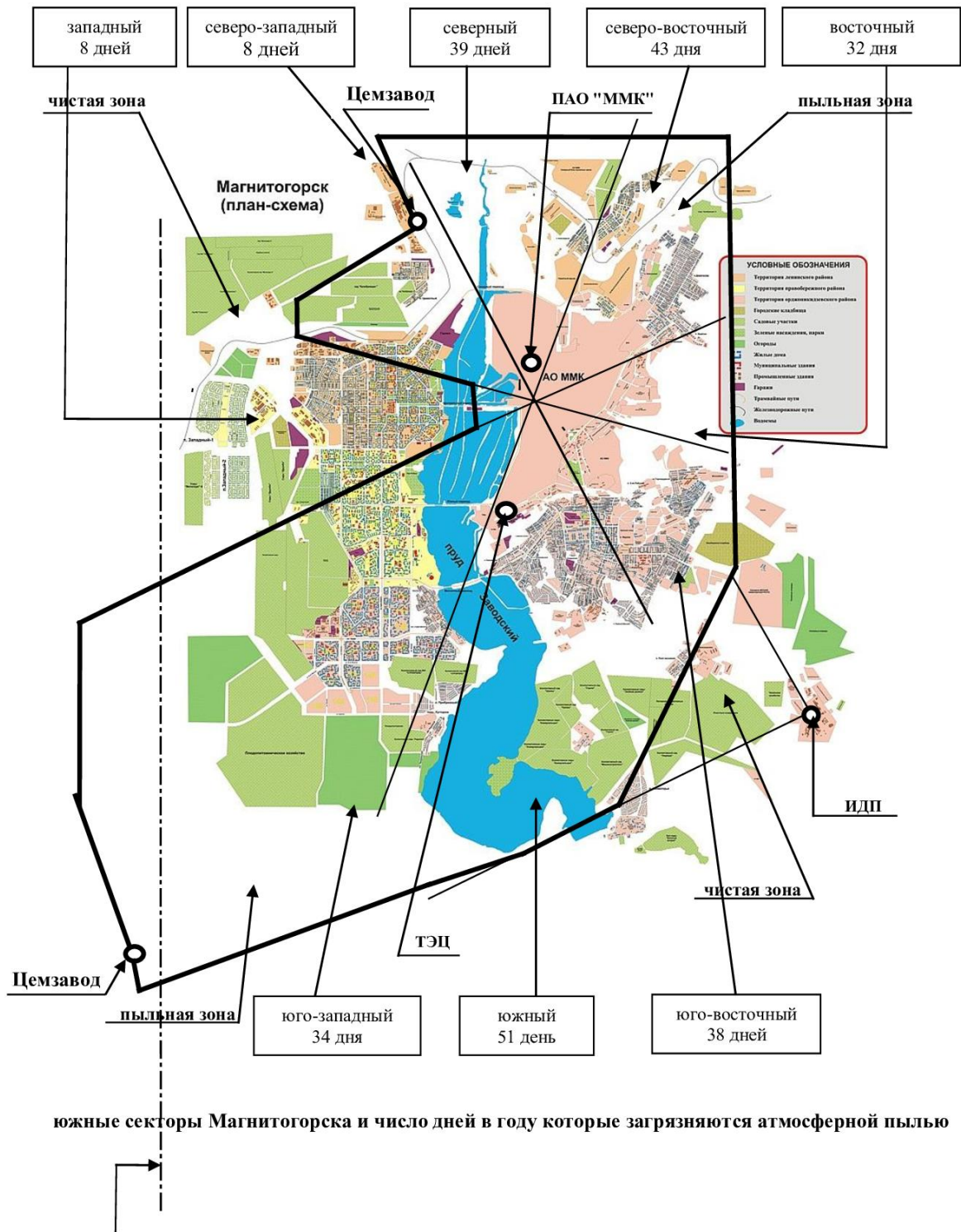
РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В 2000 году институт Урбанистики (Ленгипрогор) разработал генеральный план Магнитогорска с расчётным сроком до 2025 года (рис.2).

Расчётная численность города была принята 500 тысяч жителей. Этот генеральный план проанализирован с позиции загрязнения атмосферы воздуха пылевыми вредными веществами, которые выбрасывает ММК и другие городские стационарные источники. Это цементно-огнеупорный завод в северной части города, известково-доломитовый завод в юго-восточной части города, завод сухих смесей с производством цемента компании Lasselsderqer GmbH в юго-западной части города, построенный в 2019 году. По мнению руководства последней компании никаких проблем с загрязнением воздуха от деятельности завода не стоит, так как завод оснащён самым современным оборудованием и соответствует экологическим требованиям по сохранению окружающей среды.

Основные атмосферные вредности поступают в жилые районы и посёлки города из доменных печей. Имея температуру 250 - 300 градусов по Цельсию газы и пыль поднимаются вверх над предприятием до 400 метров. Если газы ветром разносятся далеко от города, а тяжёлая металлическая пыль, постепенно остывая, опускается по периферии города на землю и затем возвращается к стенам комбината, образуя своеобразный аэрационный кругооборот загрязнённого воздуха между селитебной зоны и стационарным источником. Это позволило подсчитать число дней в году, когда эти пыль оседает в каждом изображённом на рис.2 секторе территории города. Для этого были использованы материалы приложения 4, направление и скорость ветра, СНиП 2.01.01.82 "Строительная климатология и геофизика" по Магнитогорску, которые позволили построить два восьмиугольника, июльский и январский, с вершинами по румбам, где вдоль направления по сторонам горизонта в процентах указывается количество дней содержащие пыль в воздухе от 140 ветряных дней года летом и 111 дней ветряных дней зимой.

северные секторы Магнитогорска и число дней в году которые загрязняются атмосферной пылью



граница с респ. Башкортостан

Рис. 2. Карта Магнитогорска с числом дней в году, когда ветер заносит в соответствующий сектор городской территории пылевые вредности с ММК и других производственных объектов.
Fig. 2. Map of Magnitogorsk with the number of days per year when the wind brings dust hazards from MMK and other production facilities into the corresponding sector of the urban area.

Если взять, например, западное направление по генплану Магнитогорска (рис.2) для летнего периода, то получаем, что ветер дует с востока и имеет повторяемость 4% (см. СНиП 2.01.01.82[20]). 4% от 140 ветряных дней будет равен 5,6 дней. Если взять зимний период, то ветер с востока имеет повторяемость 1%. Тогда 1% от 111 ветряных дней получит 2,2 дня. Сумма 5,6 + 2,2 дней равна 7,8 или приблизительно 8 дней. В эти 8 дней от 251 дня в году в западном направлении территория Магнитогорска будет загрязняться пылевыми выбросами из доменных цехов ММК. Аналогично были определены дни загрязнения атмосферы воздуха и в других направлениях территории города.

Что касается штилей, то их летом 39% или 72 дня, а зимой — 23% или 43 дня. В эти дни смог стоит над городом и жителям становится трудно дышать. Меры по защите жителей от смога авторами изучаются и будут изложены в другой статье.

В результате для Магнитогорска был предложен многоугольник загрязнения атмосферы воздуха техногенными выбросами из ММК. Центр многоугольника, где объединяются линии соединяющие противоположные румбы, накладывается на место расположения на генеральном плане города наиболее пылевыбрасывающего доменного цеха ММК.

Для других стационарных источников (рис.2) тоже были построены свои многоугольники загрязнения, которые накладывались на карту города и выявляли индивидуальную зону загрязнения территории. Так была построена городская карта загрязнения Магнитогорска, которая позволяет ранжировать жилые районы и урбские посёлки. К сожалению, не возможно воспользоваться для решения экологической задачи Магнитогорска новым СП 131.13330.2018 "Строительная климатология" [12], поскольку в нём отсутствует Магнитогорск и даются преобладающие направления ветров за июнь-август.

ВЫВОДЫ

Результаты исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Следует восстановить в СП "Строительная климатология" для металлургических городов, в том числе и для Магнитогорска, приложение 4 из СНиП 2 01 01 82 "Строительная климатология и геофизика", позволяющее рассчитывать число дней в году при любом азимуте от стационарного источника, выбрасывающего в атмосферу воздуха техногенные вредности.

2. Для пяти стационарных источников выброса в атмосферу воздуха техногенные вредности, представленных на плане Магнитогорска (рис.2), проведены расчёты числа дней в году, когда загрязняется атмосфера воздуха вредностями по всем восьми секторам (азимутам) от них. Размещённые на плане Магнитогорска секторные

участки с числом дней в году в каждом секторе позволило получить общую карту загрязнения Магнитогорска с числом дней в году в различных районах города.

3. Осуществлено ранжирование городских районов по числу дней в году, тем самым представлены жилые районы и городские посёлки Магнитогорска. Минимальное загрязнение атмосферы воздуха характеризуются западный и северо-западный районы город, тогда как ранее считалось, что весь правый берег не загрязняется от стационарных источников выбрасывающих в селитебную зону техногенные вредности.

4. При проектировании новых жилых районов или городских посёлков в городской среде следует учитывать число дней в году, которые характеризуют уровень загрязнения атмосферы воздуха.

5. На запад и северо-запад ветер дует всего 8 дней из 250 ветряных дней в году. Именно в этом направлении следует продолжать строительство города, где за границей городского посёлка Крылова и за территорией занятой заводами железобетонных изделий в 1950 году и заводом крупнопанельного домостроения, построенного в 1957 году, выросли индивидуальные сады и городские посёлки Западный и Нежный.

6. Необходимы градостроительные исследования городского микроклимата с целью решения проблемы защиты населения от смога в Магнитогорске, который проявляется 62% (летом 23% и зимой - 39%) от 365 дней в году. Это 115 дней смога. Он достаточно продолжительно воздействует на жителей, нависая над жилыми районами пылегазовыми вредностями от предприятий и возрастающего по численности автотранспорта.

7. Что касается юго-западного и южного сектора развития города, то строительство нового Янгельского завода сухих смесей вряд ли позволит городу развиваться в этих направлениях. Загрязнение южных районов города возрастёт с 34 до 77 дней в году.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аркаев Е.В., Макарова Н.Н. Городское пространство Магнитогорска: этапы градостроительства и поиски новых архитектурных решений (1953) [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gorodskoe-prostranstvo-magnitogorska-etapy-gradostroitelstva-i-poiski-novyh-arhitekturnyh-resheniy-1953-1964/viewer> (дата обращения 19.08.2020)
2. Бобылева Л.А. Химический мутагенез и проблемы экологической безопасности населения промышленных городов //Современные наукоемкие технологии. 2015. – № 12-4. – С. 590-594.
3. ГАСО. Ф. Р-225. Оп. 1. Ед. хр. 260. Востокгипромет. Материалы по проектированию ММК (1928 – 1930).
4. Государственный доклад "О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации

в 2018 году" [Электронный ресурс]//Министерство природы и экологии Российской Федерации URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/gos_udarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2018/ (дата обращения 18.07.2020).

5. Гребенщиков К.Н. Функциональная организация жилища для семей с разным уровнем дохода при архитектурном проектировании жилого комплекса в условиях кризисной экологии Магнитогорска /К.Н. Гребенщиков, В.С. Федосихин //Архитектура. Строительство. Образование. 2017. №1(9). С.68-72.

6. Григорьев В.А. Решение экологических проблем в градостроительных концепциях в период с конца XIX до конца XX вв. // Сибирская архитектурно-художественная школа: Материалы Всероссийск. науч.-практ. конф. (г. Новосибирск, 12 марта 2001). – Новосибирск, 2001. – С. 91.

7. Казанева Е.К., Шенцова О.М., Хисматуллина Д.Д. Развитие социалистического классицизма в формообразовании архитектурного облика Магнитогорска//Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. 2018. Т. 1. С. 150-156.

8. Магнитогорский металлургический комбинат: годовой отчет, 2010. [Электронный ресурс]URL: http://mmk.ru/upload/iblock/78a/Annual_Report_2010_MMK.pdf (дата обращения 18.08.2020)

9. Магнитогорский металлургический комбинат: годовой отчет, 2013. [Электронный ресурс]URL: http://mmk.ru/upload/iblock/3b7/Annual_report_MMK_2013_rus-2.pdf (дата обращения 18.08.2020)

10. Магнитогорский металлургический комбинат: годовой отчет, 2018. [Электронный ресурс]URL:http://mmk.ru/upload/iblock/a5d/Annual_Report_2018_Rus.pdf (дата обращения 17.08.2020)

11. Магнитогорский металлургический комбинат: годовой отчет, 2019. [Электронный ресурс] URL:(дата обращения 17.08.2020)

12. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. Свод правил СП 131.1333.2018. Строительная климатология. СНиП 23-01-99*. Издание официальное. – М.: Стандартинформ, 2019. – 107 с.

13. Рейтинг экологической и энергетической эффективности 150 крупнейших компаний России и Казахстана [Электронный ресурс]//ЭРА URL: <https://open-era.ru/reitingi/2019/top-150> (дата обращения 17.08.2020)

14. Федосихин В.С. Экология, градостроительство и архитектура Магнитогорска (экологические основы архитектурного проектирования) / В.С. Федосихин, В.В. Хорошанский. Конспект лекций. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И.Носова, 2001. — 164 с.

15. Федосихин В.С. Магнитогорская градообразующая экологическая агломерация. Строительство: наука и образование. 2019. Т. 9. Вып. 4 (34). С 1-25. URL: <http://nso-journal.ru>.

16. Федосихин В.С., Шенцова О.М. Концепция и методика оценки устойчивого развития города и градообразующего предприятия: экономика, экология, социология (на примере Магнитогорска и Магнитогорского металлургического комбината). Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2020. №2. с. 141-152.

17. Федосихин В.С., Хисматуллина Д.Д., Шенцова О.М. Некоторые аспекты истории развития социалистического Магнитогорска//WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS. сборник статей XVIII Международной научно-практической конференции. В 2 частях. 2018. С. 210-212.

18. Федосихин В.С., Шенцова О.М. Проблема экологического строительства в промышленных моногородах России (на примере города Магнитогорска Уральского федерального округа) // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплекса: материалы междунар. науч.-практ. конф. / [отв. ред. И. Н. Пугачев]. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2017. – Вып. 17. – 690 с. – (Научные чтения памяти профессора М.П. Даниловского). С. 375—379

19. Чернышевский Н.Г. Статьи по эстетике. — М.: Соцэкгиз, 1938. – С.261.

20. Kolesnikov, A.S. Kinetic investigations into the distillation of nonferrous metals during complex processing of waste of metallurgical industry// Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2015

REFERENCES

1. Arkaev E.V., Makarova N.N. The urban space of Magnitogorsk: the stages of urban planning and the search for new architectural solutions (1953- [Electronic resource] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gorodskoe-prostranstvo-magnitogorska-etapy-gradostroitelstva-i-poiski-novyh-arhitekturnyh-resheniy-1953-1964/viewer> (date accessed 08/19/2020)

2. Bobileva L.A. Chemical mutagenesis and problems of ecological safety of the population of industrial cities // Modern high technologies. 2015. No. 12. 4. P. 590—594.

3. GASO. F. P-225. Op. 1. Unit xp. 260. Vostokgiprommez. Materials for the design of MMK (1928 – 1930).

4. State report "On the state and protection of the surrounding environment of the Russian Federation in 2018" [Electronic resource] // the Russian Federation Ministry of Nature and Environment URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/gos_udarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2018/ (date of treatment 07/18/2020).

5. Grebenshchikov, K.N. Functional organization of housing for families with different income levels in the architectural design of a residential complex in a crisis environment of Magnitogorsk / K.N. Grebenshchikov,

V.S. Fedosikhin // Architecture. Construction. Education. 2017.No1 (9). P.68-72.

6. Grigoriev V.A. Solution of environmental problems in urban planning concepts in the period from the end of the 19th to the end of the 20th centuries. // Siberian architectural and artistic. school: Materials All-Russian. scientific-practical conf. (Novosibirsk, March 12, 2001). – Novosibirsk, 2001. – P. 91.

7. Kazaneva E.K., Shentsova O.M., Khismatullina D.D. The development of socialist classicism in the shaping of the architectural appearance of Magnitogorsk // New ideas of the new century: materials of the international scientific conference FAD TOGU. 2018.Vol. 1. S. 150-156.

8. Magnitogorsk Iron and Steel Works: annual report, 2010. [Electronic resource] URL: http://mmk.ru/upload/iblock/78a/Annual_Report_2010_MMK.pdf (date of access 18.08.2020)

9. Magnitogorsk Iron and Steel Works: annual report, 2013. [Electronic resource] URL: http://mmk.ru/upload/iblock/3b7/Annual_report_MMK_2013_rus-2.pdf (access date 18.08.2020)

10. Magnitogorsk Iron and Steel Works: annual report, 2018. [Electronic resource] URL: http://mmk.ru/upload/iblock/a5d/Annual_Report_2018_Rus.pdf (access date 17.08.2020)

11. Magnitogorsk Iron and Steel Works: annual report, 2019. [Electronic resource] URL: (date of access 17.08.2020)

12. Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation. The set of rules of the joint venture 131.1333.2018. Construction climatology. SNiP 23-01-99 *. Official edition. – M.: Standartinform, 2019, —107 p.

13. Rating of environmental and energy efficiency of 150 largest companies in Russia and Kazakhstan [Electronic resource] // ERA URL: <https://open-era.ru/reitingi/2019/top-150> (date of access 17.08.2020)

14. Fedosikhin V.S. Ecology, town planning and architecture of Magnitogorsk (ecological foundations of architectural design) / V.S. Fedosikhin, V.V. Khoroshansky. Lecture notes. – Magnitogorsk: MSTU im. G.I. Nosov, 2001. – 164 p.

15. Fedosikhin V.S. Magnitogorsk city-forming ecological agglomeration. Construction: science and education. 2019.Vol. 9. Issue. 4 (34). 1-25. URL: <http://nso-journal.ru>.

16. Fedosikhin V.S., Shentsova O.M. The concept and methodology for assessing the sustainable development of a city and a city-forming enterprise: economics, ecology, sociology (on the example of Magnitogorsk and the Magnitogorsk Metallurgical Plant). Biosphere compatibility: people, region, technology. 2020. No. 2. from. 141-152.

17. Fedosikhin V.S., Khismatullina D.D., Shentsova O.M. Some aspects of the history of the development of socialist Magnitogorsk // WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS. collection of articles of the XVIII International Scientific and Practical Conference. In 2 parts. 2018.S. 210—212.

18. Fedosikhin V.S., Shentsova O.M. The problem of ecological construction in industrial single-industry towns of Russia (on the example of the city of Magnitogorsk in the Ural Federal District) // Far East: problems of the development of the architectural and construction and road transport complex: materials of the Intern. scientific-practical conf. / [resp. ed. IN Pugachev]. – Khabarovsk: Pacific Publishing House. state un-ta, 2017. – Issue. 17. – 690 p. — (Scientific readings in memory of Professor M. P. Danilovsky). P. 375-379

19. Chernyshevsky N.G. Articles on aesthetics. — M.: Sotsekgiz, 1938. – 261p.

20. Kolesnikov, A.S. Kinetic investigations into the distillation of nonferrous metals during complex processing of waste of metallurgical industry // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2015

FEATURES OF URBAN DEVELOPMENT IN MAGNITOGORSK UNDER CONDITIONS OF CONTINUOUS IMPACT OF MAN-GENERAL DISCHARGES FROM THE WORKSHOPS OF MATALLURGICAL COMBINE INTO THE URBAN ATMOSPHERE

Fedosikhin¹ V.S., Shentsova² O.M.

¹ Nosov Magnitogorsk State Technical University, address: 455000, Russia, Chelyabinsk Region, Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38, e-mail: FedosVS@yandex.ru

² South Ural State Humanitarian and Pedagogical University, Address: 455008, Russia, Chelyabinsk Ob., Chelyabinsk, Lenin Avenue, 69, e-mail: shenolga@yandex.ru

Abstract. Ensuring and maintaining the environmental safety of the urban population, which has been serving the Magnitogorsk Iron and Steel Works (MMK) and other industrial facilities of Magnitogorsk for almost a century, emitting thousands of tons of man-made substances into the air per year, is constantly in the focus of attention of leaders, the public and scientists. The article examines the historical ecological situation in the city under the conditions of a constant sharply continental microclimate and for many years the steady direction of westerly winds. From the beginning of construction and until the 40s of the twentieth century, MMK, as well as residential areas and settlements under construction Magnitogorsk were located compactly on the eastern left bank of the Ural River, between MMK and Magnitnaya Mountain, without taking into account the peculiarities of the wind regime. During the Great Patriotic War and up to the present time, the residential part of the city is being built up along the coast of the right bank in a southerly direction, leaving about a hundred thousand residents on the left bank who dream of moving to the right bank. At the same time, MMK develops geographically along the left bank of the river in a northern direction, which is closed by a cement plant, and the entire residential area is built up along the river in a southern direction. New stationary sources have appeared that emit man-made substances into residential buildings, which, in the current situation, have changed the urban aeration wind flows. Today, not all of the city's right bank retains the relative purity of the atmospheric air, which requires continuation of scientific research and search for further sustainable development of the city. The authors of the article built a rose of pollution of the territory, superimposing it on the city plan, they found parts of the city that have a minimum number of days a year when dust from stationary sources gets into this residential area of the city. Based on this, it was concluded that the residential part of the city should be developed in the direction of these parts.

Subject is the study of the level of air pollution in conditions of constant man-made emissions of harmfulness from urban stationary sources into residential buildings of the residential zone of the right-bank part of Magnitogorsk in order to create a sustainable development of the urban environment.

Materials and methods. Were analyzed scientific materials and works devoted to the history, urban planning and ecology of the city of Magnitogorsk. An analysis was carried out of climatic conditions, directions and wind speed in Magnitogorsk, their seasonal changes throughout the year, as well as the amount of gross emissions of pollutants into the air (in thousand tons) from 2000 to 2019 by MMK. To identify the impact of the mass of polluting emissions on the health of residents, a rose of wind pollution of the territory from each stationary source that emits technogenic hazards into the air was developed, and a method was proposed to determine the level of pollution of the territory the number of days per year, which made it possible to rank the territory of the right bank and recommend a revision of the general plan of the residential zones of this part of Magnitogorsk.

Rresult was the development of the concept of urban planning reconstruction of the general plan of Magnitogorsk, taking into account the level of pollution of the city territory with harmful substances emitted into the air by the metallurgical plant (70%) and other stationary sources.

Conclusions. A map of the general plan of Magnitogorsk has been developed, which shows the territory for the construction of residential areas and urban settlements, where there is a minimum number of days per year that characterize the level of air pollution from stationary sources.

Key words: Magnitogorsk, Magnitogorsk Iron and Steel Works, ecological town planning, ecology of the urban environment, town planning plan

СПИСОК АВТОРОВ

- Гурова О.С. Док-р техн. наук, Доцент, Донской государственной технической университет
- Абдали Л. М. ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
- Аль-Руфай Ф.М. ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
- Бадашев Д.В. Магистр второго года обучения, Донской государственной технической университет
- Баклакова В.В. Ассистент, Донской государственной технической университет
- Бахтин А.С. К.т.н., доцент, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
- Бахтина Т.А. К.т.н., доцент, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь.
- Бекиров Э.А. Док-р техн. наук, профессор, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. Вернадского»
- Беспалов В.И. Док-р техн. наук, профессор, «Донской государственной технической университет»
- Важдаев К.В. К.т.н., доцент, «Уфимский государственный авиационный технический университет»
- Валиахметова Ю.И. К.т.н., доцент, «Уфимский государственный авиационный технический университет»
- Верстов В. В. Док-р техн. наук, профессор, «Санкт-Петербургского государственной архитектурно строительный университет»
- Гайдо А. Н. К.т.н, доцент, «Санкт-Петербургского государственной архитектурно строительный университет»
- Гусева К.П. Ассистент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, «Тюменский государственный университет»
- Емелин В.А. Аспирант, ИВГПУ, г. Иваново
- Жжонных А.М. Ассистент, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
- Кашина И.В. К.т.н., «Донской государственной технической университет»
- Кашина И.В. К.т.н., профессор, «Донской государственной технической университет»
- Крысько А.А. К.т.н., «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»
- Кувшинов В.В. К.т.н., доцент, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
- Кузнецов П.Н. Старший преподаватель, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
- Латыпова Т.В.
- Лебедев С.Ю. Ассистент кафедры прикладной механики, «Тюменский государственный университет»
- Любомирский Н.В. Док-р техн. наук, профессор, «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»
- Михайличенко А.С. Магистр второго года обучения, ФГБУ ВО «Донской государственной технической университет»
- Мосякин Д.С. Аспирант кафедры Градостроительства АСиА (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»
- Нестерова А.Н. К.т.н., НИУ Московский государственный строительный университет
- Нестерова А.Н. К.т.н., НИУ Московский государственный строительный университет

- Николенко И.В. Док-р техн. наук, профессор, «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»
- Панченко В.А. К.т.н., доцент, «Российский университет транспорта» (МИИТ)
- Первов А.Г. Док-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
- Рипная М.М. ассистент кафедры “Техносферная безопасность”, «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»
- Сердюк А. профессор кафедры “Техносферная безопасность”, «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»
- Федоркин С.И. Советник РААСН, д.т.н., проф. «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»
- Федосеев В.Н. Док-р техн. наук, профессор, ИВГПУ, г. Иваново
- Федосов С.В. Док-р техн. наук, профессор, ИВГПУ, г. Иваново
- Чебоксаров В.В. К.т.н., доцент, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
- Чекардовский М.Н. Док-р техн. наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, «Тюменский государственный университет»
- Ширкова Т.Н. Аспирант, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
- Юдина А.Ф. Док-р техн. наук, профессор, «Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета»

ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

1. Прием статей в редакцию и состав сопроводительных документов

Прием статей для публикации в журнале осуществляется в постоянном режиме. Процесс рассмотрения статьи, рецензирования и редакционно-издательской обработки занимает достаточно длительное время, в связи с чем поступившая и допущенная редколлегией к публикации статья будет, как правило, опубликована не ранее, чем через 4 месяца со дня ее поступления. Датой поступления статьи будет считаться дата ее получения от автора в окончательном варианте после всех доработок и исправлений по замечаниям рецензентов и редактора.

Просим авторов тщательно готовить свои материалы с целью сокращения сроков их рассмотрения и обработки.

Неправильно оформленные материалы не рассматриваются, не рецензируются и не возвращаются! Также не возвращаются авторам рукописи статей и электронные копии на локальных носителях. При этом редакция по собственной инициативе в переговоры с авторами не вступает.

1.1. Прием статей на рассмотрение и рецензирование осуществляется через онлайн систему приема статей.

Прием статей на рассмотрение и рецензирование через онлайн систему приема статей производится на сайте журнала по адресу: <https://stroyjournal-asa.ru>. Инструкция по использованию системы доступна на сайте. Автор имеет возможность следить за продвижением статьи в редакции в личном кабинете и получает соответствующие уведомления по электронной почте.

Все поступившие в редакцию статьи проходят обязательное двойное слепое рецензирование. По результатам рецензирования автору сообщается решение о публикации, замечания рецензента и редактора или решение об отклонении статьи.

1.2. Прием к публикации окончательного варианта статьи. Окончательный (после внесения правки по замечаниям рецензентов и редактора) вариант статьи автор также загружает через систему или направляет на электронный адрес ger_bilenko@cfuv.ru для ее редактирования, корректуры, верстки и публикации в журнале.

1.3. Прием пакета сопроводительных документов осуществляется через онлайн систему приема статей и по электронному адресу ger_bilenko@cfuv.ru.

Автор, пройдя регистрацию в системе, загружает статью в формате .doc или .docx, форматированную по шаблону (см. п. 2), вместе с файлами отсканированных документов: экспертного заключения о возможности опубликования в открытой печати (далее – экспертного заключения) и информации об авторах статьи.

Экспертное заключение оформляется по требованиям, установленным в организации – работодателе автора. Редакция исходит из того, что авторы добровольно предоставляют сведения о себе в анкете автора в требуемом объеме и составе (в соответствии с правилами для публикаций научных статей в журналах, включенных в Перечень ВАК) для их открытого опубликования. Также к загружаемой статье может быть приложен файл отсканированной внешней (т.е. из сторонней организации) рецензии (1 экз.), оформленной и заверенной в организации по месту работы рецензента. Оригинал рецензии присылать в редакцию по почте не требуется.

Сопроводительные документы можно направить по электронной почте по адресу ger_bilenko@cfuv.ru. Все вопросы и пожелания относительно пакета документов необходимо отправлять на этот адрес электронной почты редакции.

Пакет оригиналов сопроводительных документов, включающий информационную карту статьи на публикацию сведений об авторе и экспертное заключение, должен поступить в редакцию по почте не позднее 3 недель со дня уведомления автора (письмом на адрес электронной почты) о положительном решении по поводу публикации статьи.

Бланки сопроводительных документов и требования:

Информация об авторах статьи. Информация об авторах статьи загружается в систему OJS или отправляется на адрес электронной почты ger_bilenko@cfuv.ru в электронном виде в виде файла с расширением .doc или .docx;

Бланк экспертного заключения и авторской справки (только для авторов – работников КФУ им. В.И. Вернадского (распечатывается и заполняется вручную))

Бланк экспертного заключения и Внешняя рецензия – загружается в систему OJS или отправляется на адрес электронной почты ger_bilenko@cfuv.ru сканированным виде (файл PDF).

2. Требования к оформлению статей

Статья будет рассмотрена редколлегией и рецензентами только при условии полного соответствия ее оформления изложенным ниже требованиям, предъявляемым к публикациям в научных журналах, индексируемых международными базами научного цитирования.

Все статьи, поступившие в редакцию журнала, получившие положительную оценку рецензентов и рекомендованные к публикации, проходят обязательную редакционную обработку (редактирование, корректуру, техническое редактирование). Внесение правки по замечаниям редактора согласовывается с автором.

Датой поступления статьи в редакцию считается дата поступления и регистрации в редакции окончательного авторского оригинала с учетом всех внесенных изменений по замечаниям рецензентов и редактора.

Общие требования для подготовки статей

Объем статьи, включая таблицы, рисунки и фотографии должен быть не менее 6 страниц и не превышать 10 страниц.

Шрифт. Нормальный Times New Roman (TNR), размер шрифта – 10 пт, одинарный интервал; интервал шрифта – обычный (без растяжения или уплотнения). Варианты шрифта в тексте статьи: типа курсива или жирного шрифта допускаются, подчеркивание слов и предложений не допускаются.

Параметры страницы: верхнее поле – 2,5 см, нижнее – 2,5 см, левое – 2,5 см, правое – 2,5 см.

Таблицы. Таблица озаглавляется словом Таблица 1 (шрифт – обычный TNR 10 пт, по центру) со следующим за ним номером с точкой. Далее помещается название таблицы с прописной буквы (не более 3-х строк), без заключительной точки. Ниже приводится название таблицы на английском языке. Размер таблиц и рисунков не должен превышать размер В5 (12,5 × 19,5 см). Шрифт заголовков столбцов и строк, содержания таблицы – обычный TNR 9 пунктов. Таблицы нумеруются арабскими цифрами.

Рисунки и графики. Рисунки и графики озаглавляются словом Рис.1 (шрифт – обычный TNR 9 пунктов) со следующим за ним номером с точкой. Рисунки выполняются в графических редакторах, совместимых с Word и размещаются по тексту. Под рисунком помещается подпись на русском и английском языках. Короткая подпись центрируется, а если длинная – форматируется с абзацем первой строки. Качество рисунков и графиков должно обеспечивать прочтение и тиражирование. Рисунки и графики нумеруются арабскими цифрами.

Формулы. Формулы набираются в редакторе формул Equation или Math Type. Использовать для набора формул графические объекты, кадры и таблицы запрещается. Формула располагается по центру строки, номер формулы (в круглых скобках, TNR 10 пт) – по правому краю страницы, от окружающего текста отделяется пустыми строками. Формульное окно принудительно растягивать или сжимать нельзя. Применение единиц измерений в международной системе СИ – обязательно.

Обязательный порядок статьи.

- **УДК** в левом верхнем углу страницы, шрифт TNR 12 пт, прописными буквами
- **Название статьи шрифт** TNR 12 пт все прописными.
- **Имя и фамилия** автора(ов), шрифт обычный TNR 12 пт.
- **Место работы** авторов, шрифт обычный TNR 9 пт., адрес места работы, e-mail
- **Аннотация статьи (Abstract)** 200 – 250 слов, шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Предмет исследования (Subject)**: шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Материалы и методы (Materials and methods)**: шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Результаты (Results)**: шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Выводы (Conclusions)**: шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Ключевые слова (Key words)** до 6 слов и словосочетаний, необходимых для поиска или классификатора, шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Текстовая часть**. Статья должна содержать следующие разделы:
 - ВВЕДЕНИЕ;
 - АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ;
 - МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ;
 - РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ;
 - ВЫВОДЫ;
 - СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

Заголовки разделов набираются строчными буквами, шрифт TNR 11 пунктов и центрируются.

В конце статьи размещается **Название статьи, Имя и фамилия автора(ов), Место работы авторов, Аннотация статьи, Предмет исследований, Материалы и методы, Результаты, Выводы, Ключевые слова** на английском языке с сохранением редакторских требований, указанных выше к каждому структурному элементу статьи.

Рекомендации по подготовке аннотации статьи

Аннотация выполняет следующие основные функции:

- дает возможность читателю быстро оценить основное содержание статьи с тем, чтобы решить, следует ли ему обращаться к ее полному тексту;
- предоставляет читателю самую общую информацию о статье, устраняя необходимость чтения ее полного текста в случае, если статья представляет для читателя второстепенный интерес;
- используется в научных, библиотечных и поисковых информационных системах.

Аннотация к статье должна быть:

- информативной (не содержать общих слов);
- содержательной (отражать основное содержание статьи);
- структурированной (следовать логике изложения материала в статье);

Аннотация должна включать в себя:

- предмет и цель работы (если они не следуют из названия статьи);
- используемый метод или методы исследования;
- основные результаты исследования;
- отличия данной публикации от других, схожих по теме;
- область применения результатов;
- выводы, рекомендации, перспективы развития работы.

В аннотации следует избегать лишних вводных фраз (например, «автор статьи рассматривает...», «автор полагает...» и т.д.), а также сложных грамматических конструкций. Аннотацию следует писать как можно более лаконичным, точным и простым языком. Должна быть понятна широкому кругу читателей, поэтому не должна изобиловать научными терминами. Следует избегать общеизвестных сведений и штампов. Аннотация не должна включать в себя цитаты из текста статьи. В аннотации обычно используются конструкции констатирующего характера (автор анализирует, доказывает, излагает, обосновывает и т. д.), а также оценочные стандартные словосочетания (уделяет основное внимание, важный актуальный вопрос, проблема, детально анализирует, убедительно доказывает).

Список литературы оформляется на русском и английском языках.

Библиографическое описание выполняется по:

- ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание;
- ГОСТ 7.0.5-2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления;
- ГОСТ 7.82-2001. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов;
- Регламент включения научных журналов в Российский индекс научного цитирования. – М., 2008.

Не менее 12 источников, с ссылками на статьи в предыдущих выпусках сборника «Строительство и техногенная безопасность», в которых не участвовали авторы представленной статьи.

Рекомендации по подготовке списка литературы

- Цитирование двух или более источников под одним номером, одного и того же источника под разными номерами не допускается.
- Во всех источниках необходимо указывать фамилии и инициалы всех авторов.
- Ссылки на книги, переведенные на русский язык, должны сопровождаться ссылками на оригинальные издания с указанием выходных данных оригинального издания.
- Ссылки на книги должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название книги, город, год, количество страниц.

- Ссылки на статьи в журналах должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название статьи, название журнала, год, том (если указан), номер, страницы (первая и последняя, разделенные тире).
- Ссылки на сборники (конференции, симпозиумы) должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название сборника (конференции, симпозиума), город (место проведения), год, том (если указан), номер (если указан), количество страниц.
- Ссылки на статьи в сборниках (материалах конференций, симпозиумов) должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название статьи, название сборника (конференции, симпозиума), город (место проведения), год, том (если указан), номер (если указан), страницы (первая и последняя, разделенные тире).
- Ссылки на электронные ресурсы удаленного доступа должны содержать следующую обязательную информацию: название ресурса, режим доступа, дата обращения.
- В инициалах авторов между именем и отчеством пробел не ставится.
- В заголовке описания запятая после фамилии автора перед его инициалами может быть опущена.
- Если в документе один, два или три автора, то в сведениях об ответственности (т.е. за косой чертой после названия документа) они могут не повторяться.
- При наличии **четырёх и более** авторов в сведениях об ответственности (т.е. за косой чертой после названия документа) приводят фамилии **всех** авторов.
- Допускается предписанный знак точку и тире, разделяющий области библиографического описания, заменять точкой.
- Допускается не использовать квадратные скобки для сведений, заимствованные не из предписанного источника информации.

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать в список литературы ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНиПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях или расчетах или аргументации лучше делать непосредственно по тексту статьи.
2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.
3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.
4. Самоцитирование, т.е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных показателей автора.