ISSN 2413-1873 (Print)

СТРОИТЕЛЬСТВО
И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

Construction and industrial safety

Scientific and Technical Journal on Constraction and Architecture

№ 12(64) – 2018

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 цитироваия **(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:
Абдулгазис У.А., д.т.н., проф. (КИПУ, Симферополь)

Бакаева Н.В., 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);

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

Пищулина В.В., 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»;

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

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

ISSN 2413-1873

СТРОИТЕЛЬСТВО
И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 12(64) – 2018
научно-технический журнал

Печатается по решению научно-технического совета ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» (протокол № 3 от 02.11.2018)

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: rio@napks.ru

Подписан в печать 03.11.2018.
Формат 70×108/16.
Бумага офсетная. Печать трафаретная.
Гарнитура Times New Roman. Усл.-печ. л. 19,0.
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 катлогу агенства «Роспечать».
Подписной индекс: 64974 (полугодовая).
Стоимость 1 экз. журнала 227,0 руб.

Перепечатка или воспроизведение материалов номера любым способом полностью или частично допускается с письменного разрешения Издателя.

© Академия строительства и архитектуры ФГАОУ ВО «КФУ им. Вернадского», 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 1. Градостроительство

«РЕГИОНАЛЬНАЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНАЯ ИДЕНТИЧНОСТЬ» ЖИЛЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА. 7
Зуева А. А.

ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ «ГОРОД ПОД КУПОЛОМ» В ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ЦЕЛЯХ, ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИЕ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ 17
Кашина И.В., Шульга Д. А.

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СЕРТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ 23
Шеина С.Г., Ульянская В.В.

ФРАКТАЛЬНОСТЬ И СИММЕТРИЯ В АРХИТЕКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ СООРУЖЕНИЙ 29
Маяцкая И.А., Язьева С.Б., Язьев Б.М.

Раздел 2. Строительство

ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕПЛАСТИКОВЫХ ЛАМЕЛЕЙ ПРИ УСИЛЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ 33
Маяцкая И.А., Польской П.П., Георгиев С.В., Федченко А.Е.

ПОВЫШЕНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КАРКАСА ДВЕНАДЦАТИЭТАЖНОЙ ГОСТИНИЦЫ ДЛЯ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА 39
Синцов В.П., Гавина А. С., Синцов А.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЁТ ВИБРОНАГРУЖЕННОСТИ КРЕПЕЖНО-ПРИВОДНЫХ УЗЛОВ КОНСОЛЬНОЛЬНЫХ ШНЕКОВ РАЗГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО ПНЕВМООБОРУДОВАНИЯ 45
Морозов А.Д., Чередниченко И.А., Бородачёва Т.И., Дембовский В.И., Чередниченко В.А.

РАСЧЕТ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ГОФРИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПОМОЩИ ПОЛУАНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ 49
Чепурненко А.С., Язьев Б.М, Турко М.С.

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНОГО МНОГОЭТАЖНОГО КАРКАСНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ПО МЕТОДУ «СВЕРХУ-ВНИЗ» СО СТАЛЕБЕТОННЫМИ СВАЯМИ-КОЛОННАМИ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ 57
Шаленный В.Т.

ОСОБЕННОСТИ КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО НА КВАРЦ-ПОЛЕВОШПАТОВОМ ПЕСКЕ 63
Попов А.Л., Строкова В.В., Нелюбова В.В.

Раздел 3.Инженерное обеспечение

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ОБЪЕКТАХ БОЛЬШОЙ ЭНЕРГЕТИКИ 71
Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Филимонова А.А., Минибаев А.И., Филимонов А.Г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ФЕДЕРАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ 81
Новикова О.В., Мельниченко А.С., Лучникова А.Д.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ УСТАНОВОК СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРИРОДООХРАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ 91
Белоокая Н.В., Попов В. С., Попова Е.М., Толстой В.М., Толстой М.Ю.

РАЗРАБОТКА, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ РЕАКТОРНЫХ УЗЛОВ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИБОРО И МАШИНОСТРОЕНИЯ. 99
Дарманян А.П., Урецкий Е.А., Субботкин Л.Д., Мороз В.В.

КОМПАКТНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОЧИСТКИ БЫТОВЫХ СТОКОВ 109
Амбросова Г.Т., Семенова А.П., Колодезникова А. П

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ АНОДНЫХ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ 117
Зенцов В.Н., Асташина М.В., Лапшакова И.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ В РАБОТЕ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ МИКРОРАЙОНА «БЕРЁЗОВЫЙ» ГОРОДА ИРКУТСКА И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ 123
Скибо Д.В, Толстой М.Ю.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОМАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ 133
Конопацкий Е. В., Воронова О. С.

Раздел 4. Экологическая безопасность

ВТОРЖЕНИЯ АРКТИЧЕСКОГО ВОЗДУХА И СОВРЕМЕННАЯ КЛИМАТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР И СУММ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В КРЫМУ 145
Холопцев А. В., Подпорин С.А., Курочкин Л. Е.

ПОДХОДЫ К РЕАЛИЗАЦИИ ПРАВ ЧЕЛОВЕКА НА БЛАГОПРИЯТНУЮ ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ 157
Захаров Р.Ю., Ковалёв А.А., Волкова Н.Е.

ТОКСИЧНОСТЬ СВЯЗУЮЩИХ КАК ЭЛЕМЕНТА ГОРОДСКОЙ ЭКОСИСТЕМЫ 167
Строкова В.В., Нелюбова В.В., Рыкунова М.Д., Данакин Д.Н

ИНЖЕНЕРНО - ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА НА ПРИМЕРЕ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО КОМПЛЕКСА «НОВЫЙ КУЧУК - КОЙ» 179
Суббота И.Л., Якобчак О.Ю

Список авторов 185

Руководство для авторов 187

CONTENT

Section 1. Town planning

"THE REGIONAL TOWN-PLANNING IDENTITY" OF THE RESIDENTIAL UNITS IN THE CONDITIONS OF THE SOUTHERN COAST OF CRIMEA 7
Zueva A. A

APPLICATION OF THE CONCEPT «THE CITY UNDER DOME» IN GRAND-BUILDING OBJECTIVES, WHEN PROJECTING MORE FLOOR BUILDINGS AND FACILITIES 17
Kashina I.V., Shulga A.D.

MODERN ECOLOGICAL CERTIFICATION SYSTEMS IN RUSSIA AND ABROAD 23
Sheina S.G Ulianskaya V.V.

FRACTALITY AND SYMMETRY IN ARCHITECTURAL ELEMENTS OF CONSTRUCTIONS 29
Mayatskaya I.A., Yazyeva S.B., Yazyev B.M.

Section 2. Construction

APPLICATION OF CARBON PLASTIC LAMELLAS WITH THE STRENGTHENING OF CIVIL STRUCTURES 33
Mayatskaya I.A., Polskoy P.P., Georgiev S.V., Fedchenko A.E.

INCREASING THE SEISMIC RESISTANCE OF THE METAL FRAMEWORK OF THE TWELVE THOAT HOTEL FOR THE SOUTHERN COAST OF CRIMEA 39
Sintsov V.P, Gavina A.S., Sintsov A.V.

RESEARCH AND CALCULATION OF THE VIBRON LOADS OF FASTENING AND DRIVING KNOTS OF CONSOLE AIRS UNLOADING AND TRANSPORT PNEUMATIC EQUIPMENT 45
Morozov D.A., Cherednichenko I.A., Borodacheva T.I., Dembovsky V.I, Cherednichenko V.A.

ANALYSIS OF CYLINDRICAL CORRUGATED STRUCTURES USING SEMI-ANALYTICAL FINITE ELEMENT METHOD 49
Chepurnenko A.S., Yazyev B.M., Turko M.S.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF UNDERGROUND MULTI-STOREY FRAME CONSTRUCTION BY TOP-DOWN METHOD WITH STEEL AND CONCRETE PILES-COLUMNS IMPROVED DESIGN 57
Shalenny V.T.

FEATURES OF COMPOSITE BINDER ON QUARTZ-FELDSPAR SAND 63
Popov A.L., Strokova V.V., Nelyubova V.V.

Section 3. Engineering Support

DEVELOPMENT OF ENERGY EFFICIENT RESOURCE-SAVING WATER USE SYSTEMS ON OBJECTS OF LARGE POWER ENGINEERING 71
Chichirov A.A, Chichirova N.D., Filimonova A.A., Minibaev A.I., Filimonov A.G.

METHODICAL APPROACHES TO ENERGY SUPPLY ON USE OF RENEWABLE SOURCES OF ENERGY ON OBJECTS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE OF FEDERAL VALUE 81
Novikova O.V., Melnichenko A.S., Luchnikova A.D.

STUDY OF THE APPLICATION OF ENERGY-SAVING INSTALLATIONS OF LIFE SUPPORT SYSTEMS FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION AREAS 91
Belokaya N.V., Popov V.S., Popova E.M., Tolstoy V.M., Tolstoy M.Yu.

DEVELOPMENT, DESIGN AND IMPLEMENTATION OF REACTOR KNOTS OF THE PROCESSES OF CLEANING OF WASTE WATER OF ENTERPRISES OF THE DEVICE AND ENGINEERING. 99
Darmanyan A.P., Uretsky E.A., Subbotkin LD, Moroz V.V.

COMPACT PLANTS FOR CLEANING HOUSEHOLD DRAINS
Ambrosova G.T., Semenova A.P., Kolodeznikova A.P. 109

IMPROVEMENT OF ANODE EARTH CONSTRUCTION
Zentsov V.N., Astashina M.V., Lapshakova I.V. 117

STUDY OF THE PROBLEMS IN WORK OF THE SEWAGE PUMPING STATION OF THE MICRODISTRICT "BERYOZOVIY" OF THE CITY OF IRKUTSK AND THE METHODS OF SOLVING THEM 123
Skibo D.V., Tolstoy M.Y.

THEORETICAL BASIS OF GEOMETRICAL MODELING OF HEAT EXCHANGING PROCESSES 133
Konopatskiy E. V., Voronova O. S.

Раздел 4. Экологическая безопасность

INVASION OF ARCTIC AIR AND CURRENT CLIMATE VARIABILITY OF EXTREME TEMPERATURES AND TOTAL PRECIPITATION IN CRIMEA 145
Kholoptsev A.V., Podporin S.A., Kurochkin L. E.

APPROACHES TO REALIZATION OF HUMAN RIGHTS ON THE FAVORABLE ENVIRONMENT 157
Zakharov R.Y.., Kovalyov A.A., Volkova N.E.

TOXICITY OF BINDERS AS AN ELEMENT OF THE URBAN ECOSYSTEMS 167
Strokova V.V., Nelyubova V.V., Rykunova M.D., Danakin D.N.

ENGINEERING - GEOPHYSICAL SURVEYS IN THE RECONSTRUCTION OF OBJECTS OF THE CULTURAL HERITAGE OF THE CRIMEAN PENINOUS ON THE EXAMPLE OF THE HISTORICAL AND CULTURAL COMPLEX "NEW KUCHUK - KOY" 179
Subbota I.L., Yakobchak O.Yu.

list of authors 185

Authors Guide 187

Раздел 1. Градостроительство

УДК 711+728

«РЕГИОНАЛЬНАЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНАЯ ИДЕНТИЧНОСТЬ» ЖИЛЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Зуева А. А.

Академия строительства и архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»
Адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181
zueva-anna-91@yandex.ru

Аннотация. В статье определены основные характерные черты «региональной градостроительной идентичности» жилых образований Южного берега Крыма (ЮБК). Проведен анализ и дана характеристика градостроительной организации системы жилых образований в условиях ЮБК. Определены морфотипы градостроительной организации системы жилых образований в условиях ЮБК. Определены этапы формирования и развития градостроительной организации системы жилых образований в условиях ЮБК. Дана характеристика архитектуре жилых образований в условиях ЮБК.

Ключевые слова: «региональная градостроительная идентичность», градостроительная организация, система жилых образований, морфотипы градостроительной организации, Южный берег Крыма.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования вызвана необходимостью определения основных характерных черт «региональной градостроительной идентичности» жилых образований в условиях Южного берега Крыма для более полного понимания процесса формирования и развития жилой среды на ЮБК, а также сохранения и воспроизводства сложившихся градостроительных традиций в регионе. «Региональная градостроительная идентичность» в контексте общемировых политико-экономических процессов (глобализации либо противоположному направлению – регионализации) необходима для обособления одной местности от другой посредством уникальных градостроительных особенностей этой местности. В условиях Крыма, тем более Южного берега, сохранение сложившейся градостроительной идентичности и воспроизводство её (идентичности) путем градостроительных решений необходимо для поддержания туристического и, как следствие, инвестиционного интереса к данному региону. В контексте мирового архитектурно-градостроительного тренда – создание уникальной, разнообразной среды жизнедеятельности – выявленные принципы «региональной градостроительной идентичности» будут способствовать формированию городской среды в заданном направлении.

Цель исследования: определить основные характерные черты «региональной градостроительной идентичности» жилых образований в условиях Южного берега Крыма.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ:

1. провести анализ существующего положения градостроительной организации системы жилых образований в условиях Южного берега Крыма:
   - дать характеристику градостроительной организации системы жилых образований в условиях Южного берега Крыма;
   - определить морфотипы градостроительной организации системы жилых образований в условиях Южного берега Крыма;
   - определить этапы формирования и развития градостроительной организации системы жилых образований в условиях Южного берега Крыма;
2. дать характеристику архитектуре жилых образований в условиях Южного берега Крыма.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Термин «региональная градостроительная идентичность» предложен М. Е. Монастырской в статье «Региональная градостроительная идентичность как основа «парадигмальной» интеграции в градообразовании» [1], опубликованной в научно-техническом журнале ПГУАС «Региональная архитектура и строительство» №1 (30) в 2017 г.

Согласно определению автора «региональная градостроительная идентичность – это явление и научно-практическая категория, фиксирующая

результат региональной градостроительной идентификации» [1, с. 168]. В свою очередь, «региональная градостроительная идентификация – это непрерывный процесс самоотождествления человека с другим человеком, социальной группой, территориальной общностью, обитающими в пространственных границах региона (территории), и вовлеченными в неповторимую градостроительную культуру этого региона (территории), и, одновременно, обособления и дистанцирования регионального сообщества от других «географических индивидов» в аспектах градообразования» [1, с. 168].

Данное исследование раскрывает специфику «региональной градостроительной идентичности» жилых образований Южного берега Крыма.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В исследовании использованы генеральные планы населенных пунктов ЮБК (генпланы г. Ялта 1843 г., 1899 г.; генплан г. Алупка 1908 г.), аэрофотосъемки (немецкая аэрофотосъемка 1942 г., аэрофотосъемка Яндекс), фотографии жилой среды ЮБК различных исторических периодов.

Исследование построено на исследовательских подходах «архитектурной морфологии», предложенных Т. Ю. Петуниной и О. А. Шипицыной: морфоописательном, морфотипологическом и морфогенезном [2]. Морфоописательный подход дает общую характеристику объекта путем письменного и графического изложения материала, полученного в ходе натурного исследования. Морфотипологический подход основан на выявлении характерных свойств объекта и выделении их в типологический ряд. Морфогенезный подход направлен на исследование поведения объекта во времени и пространстве, т.е. определяет основные положения и характерные черты эволюционного развития объекта.

Подходы «архитектурной морфологии» использованы для систематизации материала, полученного в ходе исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

«Региональная градостроительная идентичность» системы жилых образований в условии Южного берега Крыма охарактеризована на основе комплексного анализа жилой среды в масштабе региона, населенного пункта, района и квартала населенного пункта. Материал систематизирован в соответствии с подходами «архитектурной морфологии».

1. Особенности градостроительной организации жилых образований в масштабе региона.

Система расселения в масштабах всего региона — линейная. Территорию ЮБК в зависимости от градостроительного освоения, плотности населения и характеристики рельефа условно можно разделить на Западную и Восточную части.

Западная часть системы расселения представлена Ялтинской агломерацией. Она включает в себя населенные пункты Ялтинского городского округа и часть населенных пунктов Алуштинского городского округа от пгт Партенит до г. Алушта включительно. Ялтинская агломерация представляет собой сеть плотно расположенных населенных мест, перетекающих друг в друга. Наибольшая концентрация населенных пунктов сосредоточена вокруг города Ялта.

Средняя плотность населения в Западной агломерации по состоянию на 2015 год составляет 1185 чел/км^2, Ялтинского городского округа — 1721 чел/км^2, города Ялта — 4311 чел/км^2, города Алушта – 4239 чел/км^2 [3,4].

Западная часть Южного берега Крыма (от мыса Айя до г. Алушта) – это система горных амфитеатров, которые разделены между собой короткими поперечно направленными гребнями [5, 6].

Населенные пункты от города Алушта до мыса Ильи входят в состав Восточной части ЮБК. Восточная часть менее освоена в градостроительном плане. Населенные пункты расположены разреженно, обособленно относительно друг друга. Поселки, села, поселки городского типа на этой территории экономически сориентированы на г. Алушту и г. Судак.

Средняя плотность населения в Восточной агломерации составляет 375 чел/км^2, в части Судакского и Феодосийского городских округов – 570 чел/км^2 и 355 чел/км^2 соответственно [3,4].

От г. Алушта до г. Судак Южный берег Крыма представляет собой более однообразный ландшафт. Главная гряда Крымских гор расчленена долинами рек, разделенных узкими хребтами. Хребты, покрытые сетью оврагов, промоин и борозд, обрываются в море крутыми склонами. Территория ЮБК от г. Судак до м. Ильи характеризуется долинным рельефом с присутствием отдельных горных массивов различного происхождения [5,6].

Система расселения Южного берега Крыма (рис. 1) представлена *линейным морфотипом*, выделенным на основании природно-климатической и градостроительной ситуации.

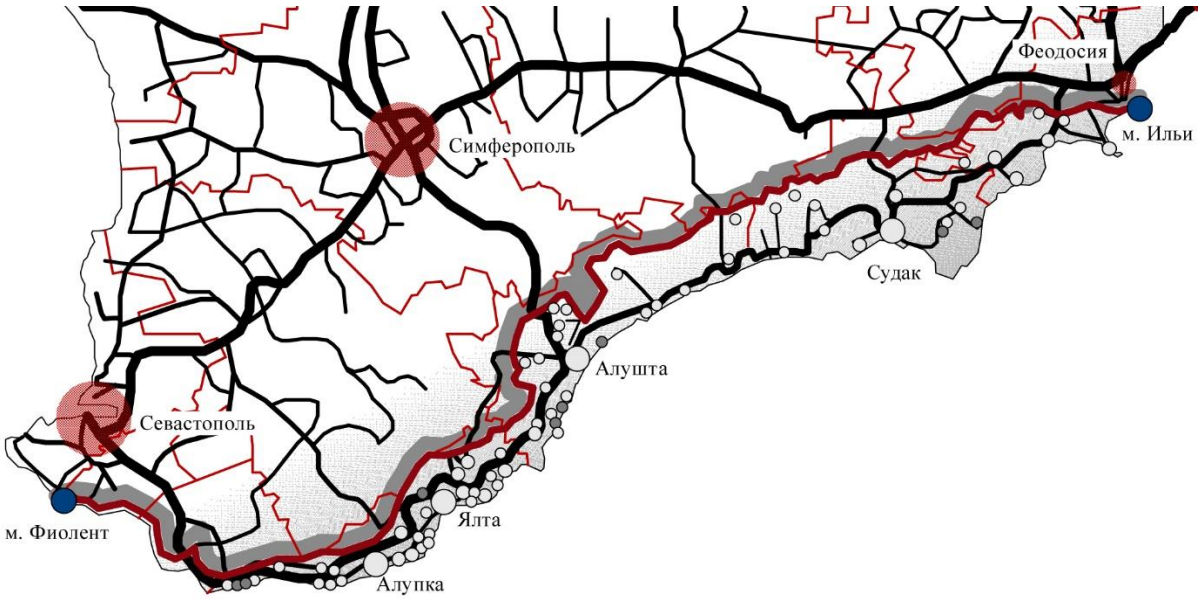


Рис. 1. Система расселения Южного берега Крыма

Fig. 1. The settlement system of the Southern coast of Crimea

Формирование данной системы происходит по следующей схеме:

локальное возникновение жилых образований в благоприятных условиях (в долинах рек, на возвышенностях, в бухтах);

укрупнение жилых образований, формирование городов и поселков;

срастание населенных пунктов в агломерации.

В Западной части ЮБК агломерационные процессы достигают своего предела, наблюдается слабовыраженный процесс структурной реорганизации жилых образований. В Восточной части ЮБК происходит оживление градостроительной деятельности, впоследствии будет наблюдаться процесс создания агломерации.

2. Особенности градостроительной организации жилых образований в масштабе населенных пунктов Южного берега Крыма

Южный берег Крыма включает в себя 4 города (Алупка, Ялта, Алушта, Судак), 27 поселков городского типа, 13 поселков и 32 села. Благодаря природно-климатической особенности региона населенные пункты образовались в Западной части ЮБК в амфитеатрах Крымских гор (по В. Р. Крогиусу имеют амфитеатро-бухтовую структуру компактного либо полосового типа [7]), в Восточной части — в устьях и долинах горных рек (по В. Р. Крогиусу имеют устьевую структуру разветвленного типа [7]).

Характерный преобладающий тип застройки в населенных пунктах — индивидуальная застройка усадебного типа. В Западной части ЮБК в условиях высокой плотности населения и большого уклона местности данная застройка имеет компактный характер и живописную структуру плана. В Восточной части ЮБК преобладает более свободный, разреженный тип индивидуальной усадебной застройки. Улицы в большей степени имеют сетчатую структуру.

В соответствии с этапами развития населенных пунктов можно выделить следующие морфотипы жилых образований (рис. 2):

полуконцентрический (морфотип жилого образования, равномерно развивающегося относительно центра (г. Ялта));

полуэллиптический протяженный (морфотип жилого образования, развивающегося относительно центра вдоль линии моря (г. Алупка));

полуэлиптический глубинный (морфотип жилого образования, развивающегося относительно центра вдоль русла реки (г. Судак));

смешанный (синтез полуконцентрических и полуэллиптических моделей (г. Алушта)).

Этапы развития населенных пунктов характеризуются политической, социально-экономической ситуацией в регионе. Формирование жилых образований происходит по схеме: этап зарождения, этап роста в существующих границах, этап уплотнения в существующих границах с постепенным расширение границ, этап расширения границ (увеличение площади населенного пункта) с последующим ростом и уплотнением.

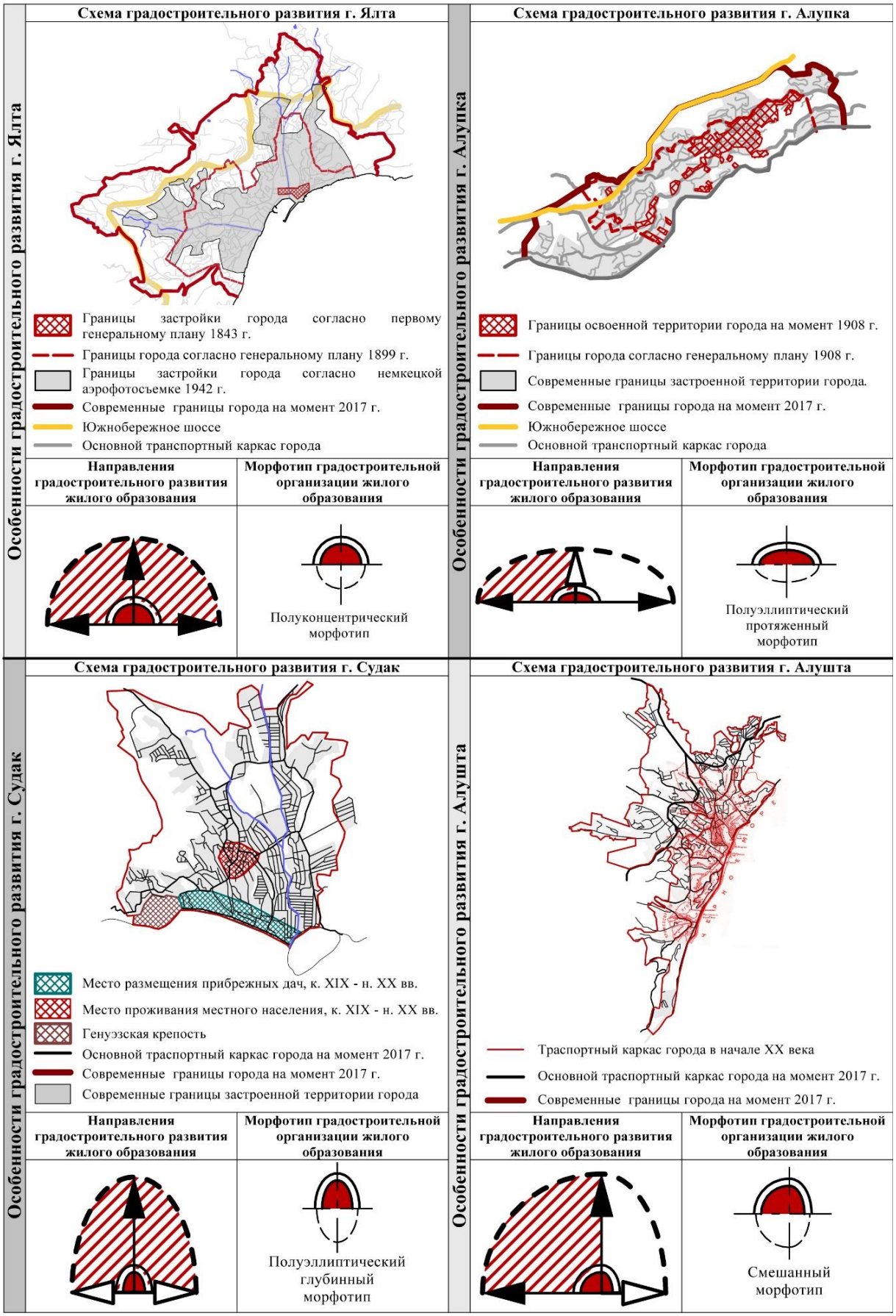


Рис. 2. Особенности градостроительной организации жилых образований в масштабе населенных пунктов Южного берега Крыма

Fig. 2. The features of town planning organization of the residential units in the scale of the settlements of the Southern coast of Crimea

Развитие населенных пунктов на ЮБК имеют свой территориальный предел. Формирование выделенных морфотипов жилых образований в масштабе населенных пунктов происходит по заведомо известному сценарию, определенному природно-климатической ситуацией.

3. **Особенности градостроительной организации жилых образований в масштабе районов населенных пунктов Южного берега Крыма** (на примере Муниципального образования Городской округ Ялта)

Районы в населенных пунктах прослеживаются не явно. Выделение районов г. Ялта произведено на основании исторических этапов формирования жилых образований, функциональной ориентации жилой среды на элементы общественного обслуживания.

В районах населенных пунктов могут прослеживаться следующие морфотипы жилых образований (рис.6):

усадебная застройка: дачного типа «царского» периода, дачного типа современного периода, сельского типа. Градостроительная ткань рассматривается как «*единица*», т. е. отдельный, цельный, завершенный объем.

групповая многоэтажная застройка: «советского» периода, современного периода. Градостроительная ткань рассматривается как «*группа*», т.е. является группой типовых объемов либо объемов, решенных в едином стилевом решении.

местная стихийная застройка: «ковровая» застройка, локальная высотная застройка (точечная, групповая). Градостроительная ткань рассматривается как «*часть*», т.е. является составной частью общего объема. Застройка сформирована в различных стилистических направлениях, но в общем образном решении.

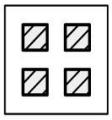
I	УСАДЕБНАЯ ЗАСТРОЙКА		II	ГРУППОВАЯ МНОГОЭТАЖНАЯ ЗАСТРОЙКА		III	МЕСТНАЯ СТИХИЙНАЯ ЗАСТРОЙКА	
"ЕДИНИЦА"		Архитектурный объем: Цельный, завершенный объем. Рассматривается как структурная единица. Организация придомового пространства: Типовое решение, зависит от потребности жителей (для отдыха, для ведения хозяйства).	"ГРУППА"		Архитектурный объем: Группа типовых либо решенных в едином стилевом решении объемов. Организация придомового пространства: Решено комплексно с требуемым набором придомовых площадок.	"ЧАСТЬ"		Архитектурный объем: Часть общего объема, отсутствие единого стилистического решения. Организация придомового пространства: Отсутствие комплексного решения придомового пространства. Часть элементов дворового пространства интегрированы в общественное.
ПОДТИПЫ ЗАСТРОЙКИ	I.1	Дачного типа "царского" периода	ПОДТИПЫ ЗАСТРОЙКИ	II.1	"Советского" периода	ПОДТИПЫ ЗАСТРОЙКИ	III.1	"Ковровая" застройка
	I.2	Дачного типа современного периода		II.2	Современного периода		III.2.1	Локальная высотная застройка: точечная
	I.3	Сельского типа					III.2.2	Локальная высотная застройка: групповая

Рис. 3. Морфотипы жилой застройки в условиях Южного берега Крыма

Fig. 3. The morphotypes of a residential development in the Southern Coast of Crimea

Формирование данных морфотипов связано с происходящими политическими процессами в регионе. Следует выделить 4 этапа формирования жилых образований:

1783-1920 – этап зарождения градостроительной деятельности в регионе после 300 летнего турецкого правления. Формирование жилых образований по принципу города-сада живописной конфигурации с домами-дачами. Формирование жилой среды в условиях локальной рыночной экономики.

1920-1991 – этап активного градостроительного освоения в части организации рекреационных учреждений. Жилые образования формируются по микрорайонному принципу организации селитебной территории с разделением функциональных зон. Формирование жилой среды в условиях плановой экономики.

1991-2014 – этап активного, неконтролируемого роста жилой застройки. Активный рост местной стихийной застройки, ее проникновение в другие типологические структуры. Формирование жилой среды в условиях глобальной рыночной экономики.

2014 – по н. в. – начало этапа обусловлено структурной реорганизацией (политической, экономической, градостроительной). Формирование жилой среды в условиях смешанной рыночной экономики.

Градостроительная организация жилой среды в районах населенных пунктов неоднородна и сочетает в себе различные морфотипы застройки. Связано это, прежде всего, с особенностью градостроительного освоения населенных пунктов ЮБК, а также политическими и социально-экономическими процессами в регионе.

4. **Особенности градостроительной организации жилых образований в масштабе кварталов населенных пунктов Южного берега Крыма** (на примере Муниципального образования Городской округ Ялта)

Градостроительный анализ квартальной застройки проведен на примере местной стихийной застройки, как преобладающего типа жилой застройки. На основании проведенного анализа выявлен *Южнобережный традиционный квартал* (рис. 7).

Рис. 4. Пример квартальной застройки г. Ялта

Fig. 4. The example of quarter development of Yalta

Южнобережный традиционный квартал – жилое образование свободной («живописной») конфигурации, ограниченное улицами, либо зелеными реликтовыми насаждениями, либо крутым не освоенным рельефом. Размер и конфигурацию Южнобережного квартала определяет, в большей степени, рельеф местности. По типу планировочной структуры различают ***локальный*** (концентрический) и ***линейный*** (полосовой): *протяженный, глубинный* кварталы. Размер кварталов варьируется от 0,1 га до 5 га. Основными характеристиками квартала является его компактность и высокая плотность застройки при соблюдении «здорового», устойчивого функционирования. Существует двух видов: с участком для ведения домашнего хозяйства, без участка для ведения домашнего хозяйства.

Формирование квартальной застройки происходит по следующим этапам: этап зарождения градостроительной массы вдоль главной планировочной оси, очерчивание тканью второстепенных элементов планировочного каркаса, заполнение тканью квартального пространства, уплотнение застройки (достижение максимально возможной площади застройки), увеличение этажности застройки.

Формирование новой либо реконструируемой жилой квартальной застройки «генетически» подчинено особенностям формирования местной стихийной застройки.

5. Особенности архитектуры жилых образований в условиях Южного берега Крыма.

На момент присоединения Крыма к Российской империи в 1783 г., после 300 летнего турецкого правления, регион представлял из себя разрушенный войнами край. Архитектура региона состояла из нескольких разновидностей социально-этнических строительных культур: «1. древнейшее греческое искусство возведения 2-этажных каменных домов на крутом рельефе, с деревянной пропильной резьбой на ограждениях южных террас; 2. своеобразная декоративная архитектура ханского дворца и жилищ богатых беев; 3. культовая исламская архитектура с высокими минаретами; 4. строительство беднейших татарских хижин из необработанного булыжника, либо глинобитных саклей, «прислоненных к скале» [8, с. 19].

Архитектура жилой среды Южного берега Крыма в царский период (1783-1920 гг.), кроме сложившейся местной «колоритной» застройки, представлена дворцово-парковыми комплексами, крупновладельческими имениями, мелкими усадьбами дачного типа, доходными домами. Основным стилем в архитектуре являлся Романтизм. Влияние Романтизма определяли три главных фактора: «творчество западноевропейских и петербургских мастеров, социальный заказ русского дворянства, специфика южнобережной природы» [8, с. 30].

Архитектура жилой среды на ЮБК 40-50 гг. XX в. представлена 3-4х этажными жилыми домами («сталинками») в стиле неоклассицизма. Жилищная архитектура 60-80 гг. типизирована, в строительстве используются крупноблочные элементы из пиленного известняка, а также крупнопанельные ж/б конструкции. Архитектором В. В. Пекарским была разработана серия крупнопанельного жилого дома для ЮБК.

В настоящее время современная жилая архитектура не подчинена единому стилевому решению. Является отражением вкусов заказчиков и современной культуры строительства (преобладающих строительных технологий и материалов) и развивается по принципу местной «колоритной» архитектуры. В целом, архитектура Южнобережья мелкомасштабная, разностилевая. Средняя этажность застройки в городах – 3-5 этажей. В архитектуре широко используются летние нежилые помещения (балконы, лоджии), формирующие не только объем здания, но и светотеневое восприятие застройки.

ВЫВОДЫ

«Региональная градостроительная идентичность» жилых образований в условиях Южного берега Крыма – это результат градостроительной деятельности, сложившейся, в большей степени, с момента присоединения Крыма к Российской империи. «К 1783 г., когда Крым вошел в состав России, Южный берег Крыма представлял собой малонаселенный, разоренный грабежами и войнами край» [9]. После 300 летнего турецкого правления и многолетних Русско-турецких войн в регионе не сохранилось (либо сохранилось в незначительной степени) уникальных градостроительных культур и традиций других народов (римлян, греков, венецианцев, генуэзцев), господствовавших в предыдущие исторические периоды. К моменту 1783 года в организации жилой среды сохранилось только «древнейшее греческое искусство возведения 2-этажных каменных домов на крутом рельефе, с деревянной пропильной резьбой на ограждениях южных террас» [8, с.19], которое переняли крымские татары, являвшиеся основным народом Крыма до 1944 года.

«Региональную градостроительную идентичность» жилых образований ЮБК во многом определяет природно-климатический фактор региона, в частности, рельеф и климат местности. Влияние рельефа местности сказывается на организации улично-дорожной сети, положении застройки на рельефе. Климат местности влияет на объемное решение и планировочную организацию застройки: в архитектуре широко используются летние нежилые помещения (балконы, лоджии).

Не зависимо от народа, населявшего регион, его культуры и традиций, а также нивелируя политико-экономическую составляющую различных исторических периодов, «региональная градостроительная идентичность» жилых образований подчинена единой формуле, заданной природно-климатической спецификой региона.

Проведя анализ существующего положения жилой среды, выделены морфотипы градостроительной организации системы жилых образований в условиях Южного берега Крыма. В масштабе региона определен линейный морфотип, характеризующийся градостроительной особенностью системы расселения, которая, в свою очередь, подчинена природной составляющей ЮБК. В масштабе населенного пункта выделены полуконцентрический, полуэллиптический протяженный, полуэллиптический глубинный, смешанный морфотипы, зависящие от рельефа местности и направления градостроительного развития населенного пункта. В масштабе районов населенных пунктов определены усадебный, групповой, местный стихийный морфотипы, выделенные по градостроительной организации жилой среды, а также архитектурно-пространственному восприятию архитектурной формы. В масштабе квартала выделен Южнобережный традиционный квартал, характеризующийся спецификой градостроительной организации (конфигурацией, площадью, границами) в природно-климатических условиях ЮБК.

В данном исследовании определены основные этапы формирования жилых образований в различных территориально-пространственных уровнях (регион, населенный пункт, район, квартал). Общую схему формирования жилых образований можно представить в следующем виде: этап зарождения, этап развития, этап уплотнения, этап структурной реорганизации. В зависимости от масштаба и положения в общей градостроительной структуре, жилые образования могут характеризоваться различными этапами своего формирования. Зная этап формирования жилых образований возможно прогнозировать и регулировать определенные процессы в развитии жилой среды. В настоящий момент необходимы градостроительные решения, которые способствовали бы более рациональному формированию жилой среды в условиях ограниченности земельных ресурсов.

Архитектура жилой среды Южного берега Крыма разнообразна, не подчинена единому стилевому решению (следствие исторических процессов). Независимо от разностилевого наполнения, архитектура жилых образований формируется в едином образном решении, что проявляется в масштабе и объемных решениях застройки, подчиненных рельефу местности.

В данной работе определены основные характерные черты «региональной градостроительной идентичности» жилых образований Южного берега Крыма. Требуется более глубокое изучение региональной специфики градостроительной организации жилой среды на ЮБК с целью более полного понимания процесса формирования жилых образований, а также поиска мер по управлению (регулированию и прогнозированию) этим процессом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Монастырская, М. Е. Региональная градостроительная идентичность как основа «парадигмальной» интеграции в градообразовании [Текст]/ М. Е. Монастырская// Региональная архитектура и строительство. – 2017. – № 1 (30) – с.165-172

2. Петунина, Т. Ю. Введение в архитектурную морфологию открытых городских пространств [Электронный ресурс]/ Т. Ю. Петунина, О. А. Шипицына// Архитектон: известия вузов. – 2015. – № 50. – Режим доступа: http://archvuz.ru/2015_2/7

3. Постановления Верховной Рады Автономной Республики Крым об установлении границ населенных пунктов Автономной Республики Крым [Электронный ресурс]/ Верховная Рада Украины. – Режим доступа: http://zakon5.rada.gov.ua/krym/main, свободный. (Дата обращения: 17.01.17 г.).

4. Итоги переписи населения в Крымском федеральном округе/ Федеральная служба государственной статистики. – М.: ИИЦ «Статистика России», 2015. – 279 с.

5. Ена, В. Г. Южный берег Крыма. Путеводитель [Текст]/ В. Г. Ена, И. В. Твердохлебов, С. П. Шантырь. – Симферополь: Бизнес-Информ, 1996. – 304 с.

6. Современные ландшафты Крыма и сопредельных акваторий: монография// Научный редактор Е. А. Позаченюк. – Симферополь, Бизнес-Информ, 2009. – 672 с., ил., цв. вкл. 16 с.

7. Градостроительство на склонах/ В. Р. Крогиус, Д. Эббот, К. Поллит и др.; Под ред. В. Р. Крогиуса. – М.: Стройиздат, 1988. – 328 с.: ил.

8. Манцыгина И. В. Архитектура усадеб «Царского берега» в Крыму в XIX – нач.XX вв.[Текст]: дис…..канд. арх.:18.00.01/ Манцыгина Инна Васильевна. – С-П, 1999.

9. Бугаев, Д. В. Словарь географических названий Крыма. Издательский дом «ЧерноморПРЕСС», Симферополь, 2013 – 380 с.: ил., карты

10. Буздар, М. М. Имения Ялты XIX – н. XX вв./ М. М. Буздар, Г. Г. Филатова. – С.-П., 2014

11. Гутнов, А. Э. Эволюция градостроительства [Текст]/ А. Э. Гутнов. – М.: Стройиздат, 1984. – 256 с., ил.

12. Гутнов, А. Э.. Город как объект системного исследования. – В кн.: Системные исследования: Методол. пробл. Ежегодник, 1977. М.: Наука, 1977, с.264

13. Кожаева, Л. Морфотипы застройки – в теории и на практике [Текст]/ Л. Кожаева//Архитектурный вестник. – 2011. – Вып. 2 (119). – С. 50-55.

14. Крогиус, В. Р. Город и рельеф. – М.: Стройиздат, 1979. – 124 с., ил.

15. Новокрещёнов, Е. В. История Ялты. Выдержки из книг, виды города, карты. – Симферополь: Бизнес-Информ, 2011. – 320 с.

16. Социалистическая реконструкция Южного берега Крыма: материалы районной планировки ЮБК/ Комитет по планировке Южного берега Крыма при СНК Крым. АССР. – Симферополь: Гос. изд. Крым. АССР, 1935. – 584 с.

17. Тайны старой Ялты. Улицы, дома, люди/ Л. М. Иванова, З. Г. Ливицкая, Ю. З. Мельник и др. – Симферополь: Н. Оріанда, 2016. – 416 с., ил.

18. Яргина, З. Н. Основы теории градостроительства [Текст]/ Я. З. Яргина [и д. р.]. – М.: Стройиздат, 1986. – 325 с.

REFERENCES

1. Monastyrskaya, M. E. Regional urban planning identity as a basis for "paradigmatic" integration in town formation [Text] / M.E. Monastyrskaya // Regional architecture and construction. - 2017. - No. 1 (30) - p.165-172

2. Petunina, T. Yu. Introduction to the architectural morphology of open urban spaces [Electronic resource] / T. Yu. Petunina, O. A. Shipitsyna // Architecton: the news of universities. - 2015. - No. 50. - Access mode: http://archvuz.ru/2015_2/7

3. The Decisions of the Verkhovna Rada of the Autonomous Republic of the Crimea on the establishment of boundaries of settlements of the Autonomous Republic of the Crimea [Electronic resource] / Verkhovna Rada of the Ukraine. - Access mode: http://zakon5.rada.gov.ua/krym/main, free. (Date of circulation: 17.01.17).

4. The Results of the population census in the Crimean Federal District / The Federal State Statistics Service. - M .: Information and Analysis Center "Statistics of the Russia", 2015. - 279 p.

5. Yena, V. G. The Southern coast of the Crimea. Guide [Text] / V. G. Yena, I. V. Tverdokhlebov, S. P. Shantir. - Simferopol: Business-Inform, 1996. - 304 p.

6. The Contemporary landscapes of the Crimea and adjacent areas: monograph // Scientific editor E. A. Pozachenyuk. - Simferopol, Business Inform, 2009. - 672 p.

7. The Urban planning on the slopes / V. R. Krogius, D. Abbott, K. Pollitt and others; Ed. V. R. Krogius. - Moscow: Stroiizdat, 1988. - 328 p .

8. Mantsygina I. V. The architecture of the manors of the "Tsar's bank" in the Crimea in the XIX - early XX centuries. Text: dis ... ..kand. architect: 18.00.01 / Matsygina Inna Vasilievna. - SP, 1999.

9. Bugaev, D. V. The Dictionary of geographical names of the Crimea. "Chernomorpress" Publishing House, Simferopol, 2013-380 p.

10. Buzdar, M. M. Imennia Yalta XIX - n. XX centuries / M. M. Buzdar, G. G. Filatova. - S.P., 2014

11. Gutnov, A.E. Evolution of Urban Development [Text] / A.E. Gutnov. - Moscow: Stroyizdat, 1984. - 256 p.

12. Gutnov, A. E. The City as an Object of System Research. - In: Systematic Research: Metodol. probl. Yearbook, 1977. Moscow: Nauka, 1977, p.264

13. Kozhayeva, L. Morphotypes of building - in theory and in practice [Text] / L. Kozhayeva // Architectural Herald. - 2011. - Вып. 2 (119). - P. 50-55.

14. Krogius, V. R. Town and relief. - Moscow: Stroiizdat, 1979. - 124 p.

15. Novokreshchenov, E. V. History of Yalta. Extracts from books, city views, maps. - Simferopol: Business-Inform, 2011. - 320 p.

16. Socialist reconstruction of the Southern coast of the Crimea: materials of the regional planning of the Southern Coast of the Crimea / Planning Committee of the Southern Coast of Crimea under SNK Crimea. The ASSR. - Simferopol: The state. ed. Crimea. ASSR, 1935. - 584 p.

17. Secrets of the Old Yalta. Streets, houses, people / L.M. Ivanova, Z. G. Livitskaya, Yu.Z. Melnik and others - Simferopol: N. Orianda, 2016. - 416 p.

18. Yargina, Z. N. The foundations of the theory of urban planning [Text] / Z. N. Yargina and others. - Moscow: Stroiizdat, 1986. - 325 p.

"THE REGIONAL TOWN-PLANNING IDENTITY" OF THE RESIDENTIAL UNITS IN THE CONDITIONS OF THE SOUTHERN COAST OF CRIMEA

Zueva A. A.

Summary The article defines the main characteristic features of the "regional town-planning identity" of the residential units of the Southern Coast of Crimea. The analysis and the characteristic of the town-planning organization of the system of residential units in the conditions of the South Coast of Crimea are given. The morphotypes of the town-planning organization of the system of residential units in the conditions of the South Coast of Crimea are determined. The stages of the formation and development of the town-planning organization of the system of residential units in the conditions of the South Coast are determined. The characteristics of the architecture of residential units in the conditions of the South Coast of Crimea are given.

Key words: "Regional town-planning identity", town-planning organization, a system of the residential units, morphotypes of a town-planning organization, the Southern coast of Crimea.

УДК 721.001

ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ «ГОРОД ПОД КУПОЛОМ» В ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ЦЕЛЯХ, ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИЕ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Кашина И.В., Шульга Д. А.

Академия строительства и архитектуры, ФБГОУ ВО ДГТУ
Адрес: г.Ростов-на-Дону, ул. Социалисттическая, 162
[1] e-mail: akbcf84@yandex.ru,
[2]e-mail: akbcf84@yandex.ru,

Аннотация статьи Мировой опыт строительства с древних времен показывает, что одной из эффективных форм пространственных конструкций являются купола. Они обладают рядом преимуществ, которые делают их уникальными архитектурными сооружениями: большой несущей способностью, и чем больше купол, тем она выше. В статье рассмотрены некоторые примеры купольного строительства, их особенности, а также предпосылки их строительства.
Ключевые слова строительство, город-купол, пространство, конструкции, архитектура

ВВЕДЕНИЕ

Город под куполом (англ. domed city) — разновидность теоретической или вымышленной структуры, которая представляет собой большую урбанизированную область, помещённую под единую крышу. Их строительство связано с улучшение комфортных условий проживания людей – загрязнение воздуха и иные виды разрушения окружающей среды. В середине 20 века купола использовали для возведения климатронов, помещений с воспроизведением определенных климатических условий для создания растительных сообществ, типичные для определенных географических зон. Первый такой «Климатрон» был построенный в Сент Луисе, штат Миссури (США) в 1960 году, диаметром 53 метра, сделанный из алюминиевых несущих рам.

В Советском союзе в 1971 году был построен климатрон высотой 30 метров и общей площадью около 1000 м², а в 1984 году было завершено сооружение купольной оранжереи высотой 18 м общей площадью 532 м² на территории Ботанического сада им. А.В. Фомина.

Каркасы купольной системы можно оснастить внутренними поддерживающими конструкциями, опорой для которых служит накрываемое куполом здание. Такой каркас сделает купол более жестким и снимет значительную часть нагрузки с внешней сетчатой оболочки, что позволит делать ее из серийного профиля, который дешев и повсеместно доступен. Стандартные ячейки с тремя слоями купольной пленки обладают достаточно высокими теплозащитными свойствами, сравнимыми с трехслойными пластиковыми стеклопакетами. Но для севера их можно усилить несколькими дополнительными слоями пленки, до десяти слоев.

Таким образом, купольная система дает большие преимущества в плане сохранения тепла зимой, позволяя в несколько раз снизить расход энергоносителей и эффективно использовать альтернативные источники тепла.

Преимущества купола:

- изогнутая форма купола делает его устойчивым от ветра и шторма;
- во время землетрясений купол двигается с землей, вместо того, чтобы упасть;
- купол не может быть поврежден в результате пожара, гнили, или насекомых.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Геодезический купол — это конструкция сферической формы, собранная из тетраэдров. Ричарда Бакминстера Фуллера считают ее изобретателем, но это верно лишь отчасти. Первую сферическую сетку разработал инженер Вальтер Баурфельд для планетария компании «Цейс» в Йене в 1925 году. Впрочем, Фуллер занимался исследованием формы сферы самостоятельно. В 1948 году он демонстрировал студентам Mountain college первые бумажные модели геодезического купола, а в 1950-е годы запатентовал его как конструкцию и получил несколько заказов на ее сооружение, в том числе и от компании «Форд». Настоящая слава пришла к Фуллеру в 1967 году, когда геодезический купол был сооружен для павильона США на Всемирной выставке в Монреале (сохранился). Диаметром чуть больше 76 метров, он до сих пор остается самым большим в мире геодезическим куполом.

Также Фуллер считал, что геодезическими куполами можно накрывать целые города. В частности, куполом диаметром в две мили (чуть больше трех километров) он хотел накрыть Манхеттен. Притом, что жители могли бы по-прежнему видеть небо, никаких связанных с этим неприятностей, вроде осадков, они бы не

испытывали. Кроме того, купол позволил бы существенно экономить энергию, тепло и холод. Поверхность купола составила бы всего 1/85 часть от площади поверхности всех зданий на Манхеттене, а это значит, что энергии на создание искусственного климата внутри него ушло бы в 85 раз меньше. Но за проект никто никогда не брался всерьез.

Купола фуллерна не нашли широкого применения в архитектуре, но они используются при проектировании некоторых зданий инновационного дизайна, получивших репутацию новых архитектурных чудес, таких как:

- Купол «Климатрон», построенный в Сент Луисе в 1960 году;
- Купол – «Миллениум», «Тысячелетие», созданный в 1999 году в английском «Гринвиче», имеющий 50 метров в высоту и 320 метров в диаметре, со сложной системой поддерживающих тросов.
- Ботанический сад – «Эдем» спроектирован архитектором Николасом Гримшоу (Nicholas Grimshaw&Partners) в 2001г., имеющий форму ряда куполов, построенный в 2002 году в Англии, в окрестностях Корнуэлла.

Здание национального пекинского плавательного комплекса в Китае. Построенное в форме квадрата из ассиметричных несущих ячеек, 30 метровой высоты и 170 метров в длину, прозванный «Водяной куб» из за своей геометрии.

Это только некоторые архитектурные сооружения с использованием геодезического купола, получивших славу новых архитектурных чудес.

Также город под куполом излюбленная тема российских архитекторов. На сегодня ими на самом высоком уровне предложено два профильных проекта — финансирования пока ни один не получил.

Полярный город Умка**.** Проект города под куполом за полярным кругом разработал заслуженный архитектор России Валерий Ржевский. Город должен напоминать гигантскую — 1,5 км в длину, 800 м в ширину — международную космическую станцию, при этом не нуждающуюся в обслуживании. Здесь будет не только искусственный климат, но и полностью замкнутый цикл жизнеобеспечения: в полях под куполом заколосится рожь, в прудах станет нереститься рыба, на фермах — нестись несушки. Само собой, запланированы спорткомплекс и аквапарк. Жители города — ученые, а также нефте- и газодобытчики — будут передвигаться на электромобильчиках.

Экогород-2020 в Якутии**.** Идея многоуровневого подземного города под куполом принадлежит архитектурному бюро "Аб Эллис". В 2010 году специалисты бюро предложили использовать карьер неподалеку от города Мирный, оставшийся после промышленной добычи алмазов. Работа на этом карьере, одном из крупнейших в мире, прекратилась еще в 2001 году. Теперь же по проекту архитекторов огромный котлован диаметром почти 1,2 км и глубиной более 550 м можно накрыть прозрачным куполом и возвести под ним трехуровневый город с жилыми зонами и зонами для отдыха и развлечений, в котором смогут проживать 100 тыс. человек [1].

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель исследования: изучение купольных построек и выявление пространственных возможностей теории «Город под куполом».

Задачи исследования: изучение особенностей проектных, конструктивных, технических и технологических решений при использовании концепции «Город под куполом» для строительства и эксплуатации уникальных большепролетных проектов

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ С РЕЗУЛЬТАТАМИ И ИХ АНАЛИЗОМ

Мировой опыт строительства показывает, что одной из эффективных форм пространственных конструкций являются купола. Наиболее рациональными они оказываются при перекрытии больших пролетов. Так, если плоскостные конструкции пролетом до 40 м по металлоемкости еще могут конкурировать с купольными, то с увеличением пролета преимущество купольных очевидно. Эффективность этих конструкций возрастает с увеличением пролета и не случайно, что большинство покрытий более 200 м являются купольными. Велики и композиционные возможности таких конструкций. Они позволяют перекрывать здания универсального назначения, создавать прекрасные образцы архитектурного творчества.

Купола обладают рядом преимуществ, которые делают их уникальными архитектурными сооружениями. Купола обладают большой несущей способностью, причем, чем больше купол, тем она выше. Простые сооружения создаются очень быстро из достаточно лёгких элементов силами небольшой строительной группы: структуры до 50 метров собираются даже без строительного крана. Купола также обладают идеальной аэродинамической формой, благодаря чему их можно возводить в ветреных и ураганных районах.

Рис. 1. Аквапарк Океанский купол, Япония, город Миядзаки 1993 год
Fig. 1. Waterpark Ocean Dome, Japan, Miyazaki City 1993 year
http://user.vse42.ru/files/P_S1280x878q80/Wnone/ui-502b0798eaf495.78464118.jpeg

Океанский Купол является самым большим аквапарком в мире, который занесен в Книгу Рекордов Гинесса. Он находится в Японии в городе Миядзаки на острове Кюсю. Владелецем является сеть отелей Sheraton. Аквапарк был открыт в 1993 году. Крышей является гигантский купол, высотой 38 метров, раздвигающийся в солнечную погоду в стороны от центра, и закрывающий в плохую погоду , создавая и поддерживая температуру воздуха 30 °C и воды 28 °C. Площадь аквапарка Океанский купол просто огромна: около 6 площадей футбольных поле. Одновременно его могут посещать до 10000 человек [2].

Хочется отметить также самый большой деревянный купол в Европе [3]. Крупный европейский энергетический концерн Enel, стремясь к решению экологических проблем и использованию натуральных материалов для реализации масштабного проекта по строительству складов выбрал деревянные конструкции. Два купола из клееной древесины, диаметром 143 метра каждый оберегают от непогоды складские помещения.

Рис. 2. Деревянный купол, Бриндизи (Италия), 2013 год
Fig. 2. Wooden dome, Brindisi (Italy), 2013
https://files1.structurae.de/files/350high/5180/dam_4100.jpg

Следующим представителем большепролетной купольной системы является купол, выполненный в виде однослойной структуры по схеме «lattice» принадлежит спортивно-концертному комплексу «Nagoya Dome» в Японии, построенному в 1997 году. Купол диаметром 188 м состоит из стержней из стальных труб диаметром 65 см и длиной 10 м. Высота 67 м, площадь поверхности 48 тыс. м2 [4] . Комплекс рассчитан на 40 тыс. зрителей.

Рис. 3. Спортивный комплекс «NagoyaDome», Япония, 1997 год
Fig. 3. Sports complex “NagoyaDome”, Japan, 1997
https://im0-tub-ru.yandex.net/i?id=678a433fe858540b1483da437afe6415&n=13

В 2004 г. было закончено строительство Крытого конькобежного центра в Крылатском, представляющего собой сегмент круга радиусом 117 м с центральным углом - 160°. Покрытие образовано деревометаллическими фермами. Система парных радиальных ферм пролѐтом 2х50,4 м посередине покрытия через кольцевую балку подвешена к вантам, которые через центральный стальной пилон высотой 50 м и подкрепляющие его две оттяжки передают усилие на фундамент. Спортивный комплекс «Крылатское» – уникальное сооружение международного уровня как по архитектурно-инженерным решениям, так и по техническому оснащению, его смело можно поставить в один ряд с олимпийскими ледовыми аренами, построенными в Нагано (Япония, 1998); Хамаре (Норвегия, 1994); Солт-Лейк-Сити (США, 2002). Вместимость конькобежного центра – 10 000 зрителей.

Рис. 4. Спортивный комплекс «Крылатское» в Москве, Россия, 2004 год
Fig. 4. Krylatskoye sports complex in Moscow, Russia, 2004
https://im0-tub-ru.yandex.net/i?id=369b43e495b2d397eb89662f8cf79ce5&n=13

Яркий представитель 2017 года - стадион «Зенит» на Крестовском острове в Санкт-Петербурге. На стадионе «Зенит» дорогостоящая крыша (вся конструкция стоит порядка 5 млрд. рублей) и системы искусственного климата. Футбольное поле выкатывается со стадиона целиком, чтобы лучше росла трава. Чтобы такое стало возможным, пришлось под трибунами сделать огромный проем с пролетом 100 метров. Еще есть более 50 лифтов и десятки тысяч метров коммерческих площадей [4].

Рис. 5. Стадион «Зенит» в Санкт-Петербурге, 2017 год
Fig. 5. Zenit Stadium in St. Petersburg, 2017
http://archisfera.ru/wp-content/uploads/2017/06/5MBA4k6T2lA.jpg

ВЫВОДЫ

1. Предпосылками создания «Город под куполом» является создание комфортных климатических условий для существования людей. Под куполом должны быть созданы зоны особой тишины, комфорта, чистого воздуха, свежей зелени, всего того, что так недостает жителям современных городов-гигантов. Избавленные от выхлопных газов автомашин и дыма фабричных труб, страшного смога — ядовитой смеси тумана и газов, убивающего столько людей во многих капиталистических городах, пронизывающего ветра, слякоти и непогоды, обитатели «подкупольного рая» будут поистине наслаждаться жизнью.

2. Подходы к проектированию купольных городов зависят от технологических достижений развития материалов строительства. Техническая возможность создания городов под куполом зависит от создания новых сверхпрочных материалов, и технологий недорогого строительства.

3. Анализ зарубежного и отечественного опыта проектирования «Город под куполом» иллюстрирует тенденция формирования концепции развития и пространственной организации купольных сооружений: развитие принципа универсальности, многофункциональности, трансформации и мобильности.

4. Проектирование и строительство купольных сооружений является не новой вехой для России. Основным вопросом в данных проектах остается лишь финансирование.

5. Эффективной формой перспективной эксплуатации, с практической точки зрения, города под куполом - освоение ранее непригодных территорий для жизни. Так как, количество мест, действительно благоприятных для жизни человека, не так велико, и все они плотно заселены.

6. Купольные системы дают массу преимуществ в плане энергосбережения, и способны сделать жизнь в условиях крайнего севера такой же комфортной как в средней полосе, или даже южных регионах.

7. Купольные системы могут решать не только градостроительные задачи, но и задачи круглогодичной эксплуатации отдельно выделенных жилых, общественных или развлекательных систем (торговые центры, жилые районы, аквапарки, лыжные комплексы и т.д.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Журнал "Коммерсантъ Деньги" №44 (http://kommersant.ru/money/60940) от 07.11.2011, стр. 58

2. http://akva-gid.ru/ akvapark_okeanskij_ kupol. php

3. https://maistro.ru/articles/stroitelnyj-konstrukcii/bolsheproletnye-konstrukcii-v-mire-samyj-bolshoj-derevyannyj-kupol-v-evrope

4. Агеева Е.Ю., Филиппова М.А. А 23 Большепролетные спортивные сооружения: архитектурные и конструктивные особенности.: Учебное пособие. –Н. Новгород: Издательство Нижегородского гос. архит.–строительногоуниверситета, 2014. –84 с.

REFERENCES

1. The magazine "Kommersant Dengi" №44 (http://kommersant.ru/money/60940) from 07.11.2011, p. 58

2. http://akva-gid.ru/akvapark_okeanskij_kupol.php

3. https://maistro.ru/articles/stroitelnyj-konstrukcii/bolsheproletnye-konstrukcii-v-mire-samyj-bolshoj-derevyannyj-kupol-v-evrope

4. Ageeva E.Yu., Filippova M.A. A 23 Large-span sports facilities: architectural and constructive features.: Textbook. -N. Novgorod: Publishing house of the Nizhny Novgorod state. Architectural-building university, 2014. -84 p.

APPLICATION OF THE CONCEPT «THE CITY UNDER DOME» IN GRAND-BUILDING OBJECTIVES, WHEN PROJECTING MORE FLOOR BUILDINGS AND FACILITIES

Kashina I.V., Shulga A.D.

Summary: World experience of construction since ancient times shows that one of the most effective forms of spatial structures are domes. They have a number of advantages that make them unique architectural structures: a large load-bearing capacity, and the larger the dome, the higher it is. The article considers some examples of dome construction, their features, as well as the prerequisites for their construction.
Key words: construction, city-dome, space, structures, architecture.

УДК 69.001.6

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СЕРТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

Шеина С.Г., Ульянская В.В.

[1] Донской Государственный Технический университет, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая 162а, e-mail: rgsu-gsh@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены наиболее часто используемые системы экологической оценки объектов строительства. Перечислены критерии, на основе которых производится сертификация сооружений, по каждой системе. Приведены системы оценки у перечисленных стандартов. Рассмотрен пример здания с наивысшим рейтингом по одной из систем оценки экологической энергоэффективности. Наличие различных параметров оценки в приведенных стандартах сведено в таблицу.

Предмет исследования: современные рейтинговые системы сертификации строительных объектов, а также анализ оцениваемых ими параметров. Целью исследования является сравнение критериев, по которым проводится сертификация, и выявление оптимального их количества для достижения энергоэффективности зданий.

Материалы и методы: анализ каждой системы экологической сертификации и сравнительная таблица по составу определяющих критериев.

Результаты: во всех описанных системах учитываются факторы: применение экологически чистых материалов и водоэффективность. Большинство стандартов учитывают также факторы: энергоэффективность, чистый транспорт, внедряемые технологии и инновации, удовлетворяющее состояние внутренней среды, устойчивость прилегающей территории или строительной площадки.

Выводы: необходимость доработки существующих экологических стандартов в России для обеспечения прогресса зеленого строительства в стране.

Ключевые слова: система экологической сертификации, зеленое строительство, оценка энергоэффективности, экологический стандарт.

ВВЕДЕНИЕ

Энергия является доминирующим фактором изменения климата, на который приходится около 60% глобальных выбросов парниковых газов[1]. В США около 40% выбросов углекислого газа и 13% потребления питьевой воды приходится на здания, что вынуждает к поиску решений по повышению уровня экологичности эксплуатируемых и возводимых объектов[2]. Сертификация сооружений на соответствие экологическим стандартам в настоящее время выгодна всем участникам строительного процесса. Для заказчика снижаются инвестиционные риски, так как он осуществляет вложение в высокотехнологичный проект, а генеральный проектировщик и подрядные организации повышают уровень конкурентоспособности и профессионализма. Но основополагающая цель проведения сертификации – обеспечение в зеленом здании комфортной и здоровой среды для пребывания и работы людей.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Произведен анализ современной российской и зарубежной литературы на тему существующих систем экологической сертификации. По наиболее распространенным системам оценки экологической энергоэффективности произведено подробное исследование по данным, предоставляемым официальными источниками упомянутых систем [2], [6], [9], [12], на определяющие сертификацию факторы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализированы существующие на данный момент системы экологической оценки объектов строительства и определяющие параметры по каждой из систем. Также исследуется система присвоения оценки сертифицируемому зданию или сооружению. После проведения анализа каждого упомянутого стандарта, производится сравнительный анализ по наличию и составу определяющих параметров в каждой системе экологической сертификации.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В ходе анализа осуществляющих в настоящее время сертификацию объектов строительства экологических стандартов было выявлено, что из ряда систем стандартизации самыми крупными и известными являются системы:

- LEED (США);
- BREEAM (Великобритания).

Система LEED использует балльную систему, учитывая 9 ключевых аспектов зеленого здания:

- процесс интеграции технологий в объект;
- расположение и транспортировка к объекту;
- устойчивость строительной площадки;
- водоэффективность;
- используемые материалы и ресурсы;
- экологичность энергоресурсов[3];
- состояние внутренней среды;

- интегрируемые инновации;
- региональный приоритет.

Согласно соответствию здания перечисленным критериям присуждается сертификат: «Сертифицирован», «Серебряный», «Золотой» или «Платиновый».

Сертификация осуществляется как для возводимых, так и для существующих объектов по четырем категориям, представленным на схеме (Рис. 1):

Рис. 1. Основные категории, учитываемые системой LEED при проведении сертификации
Fig. 1. Main categories considered LEED during certification process

Великобритания разработала систему экологической оценки BREEAM[4], которая к настоящему времени провела сертификацию более 500 тыс. объектов в 77 странах мира. Оценка осуществляется по следующим критериям (Рис. 2).

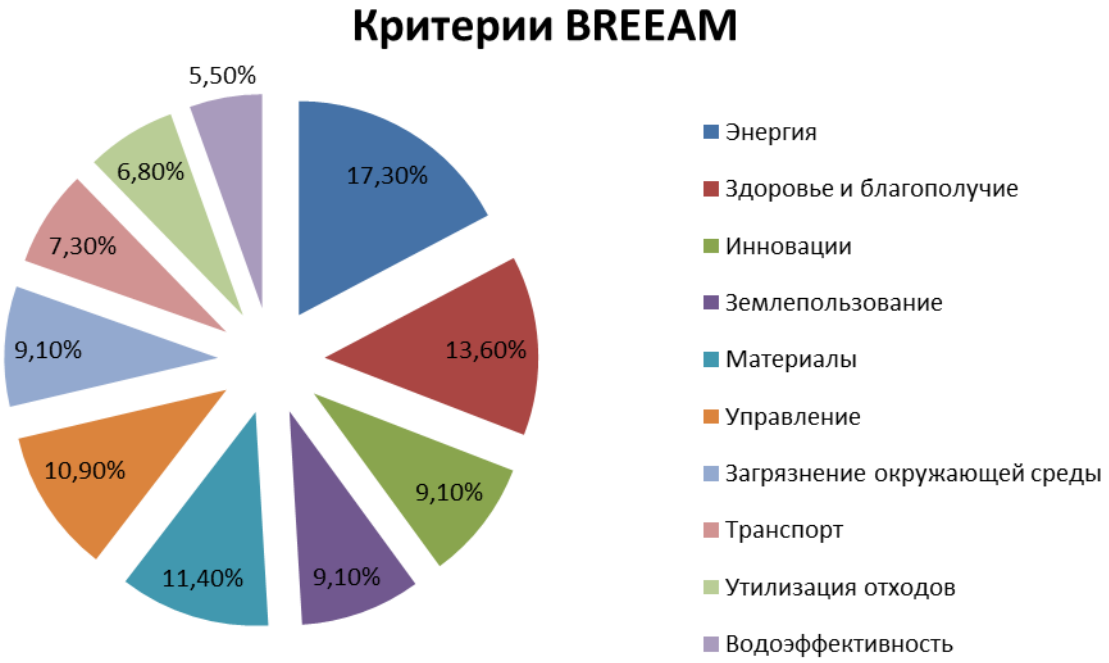


Рис. 2. Критерии, учитываемые в системе сертификации BREEAM в процентном отношении[5]
Fig. 2. Criteria considered BREEAM in percentage terms[5]

Британская система оценки имеет 6 звезд, отражающих успех проекта в достижении экологизации, и, согласно количеству звезд, присваивает сертификат: “Сертифицировано”, “Хорошо”, “Очень хорошо” или “Превосходно”.

Самый высокий рейтинг в Великобритании присвоен зданию Bloomberg European Headquarters в Лондоне с сертификатом “Превосходно” (98,5%). В проекте разработаны системы, сохраняющие 73% потребления водных ресурсов и 35% – энергетических[6]. Дождевая вода, собранная с крыши, и использованная вода с бассейнов и душевых, собирается, очищается и используется для бытовых нужд, что экономит 25 миллионов литров воды ежегодно. Также предусмотрена естественная вентиляция и специальная система контроля углекислого газа “Smart Airflow”, которая распределяет воздух в зависимости от количества людей, находящихся в помещении. Ожидается, что способность регулировать воздушный поток позволит сократить выбросы углекислого газа до 300 тонн каждый год. В потолках офиса встроены особенные панели, которые могут осуществлять подачу воздуха, охлаждать, освещать помещения и даже снабжены акустической системой. Освещение выполняется 500 тыс. LED-лампочками, потребляющими на 40% меньше энергии в сравнении с обычными флуоресцентными (Рис. 3.)

Рис. 3. Многофункциональные потолочные панели, здание «Bloomberg»
Fig. 3. Multifunctional ceiling panels, Bloomberg building

Согласно статистике, проведенной ООН, использование энергосберегающих ламп во всем мире позволило бы сэкономить 120 миллиардов долларов в год[7].

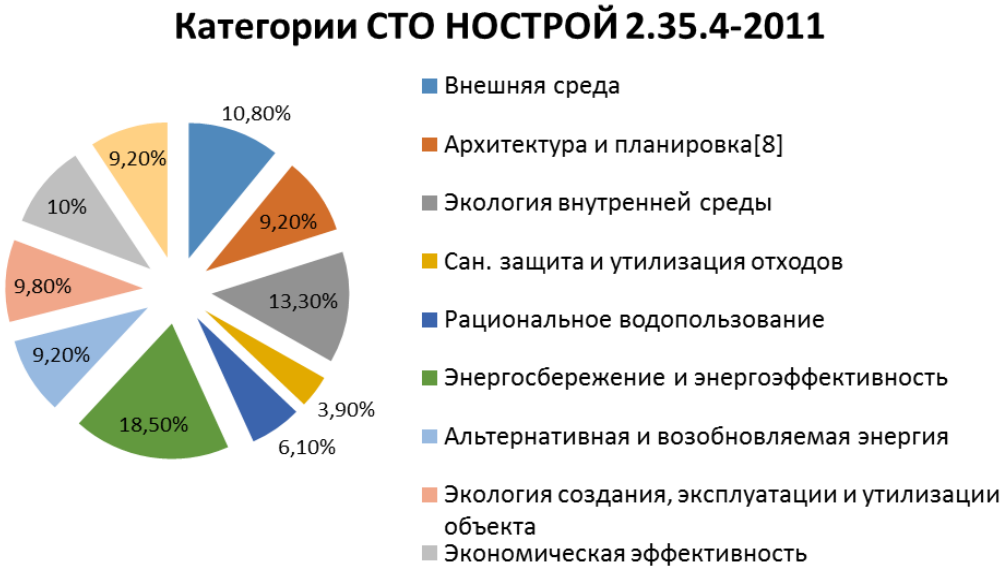


Рис. 4. Категории, учитываемые в системе сертификации СТО НОСТРОЙ 2.35.4-2011 в процентном отношении
Fig. 4. Categories considered STO VNOSTROY 2.35.4-2011 in percentage terms

S-фактор, баллы	520–650	420–519	340–419	260–339	170–259	100–169	0–99
Классы оценки	A	B	C	D	E	F	G
Знаки оценки							

Рис. 5. Классы устойчивости среды обитания по системе СТО НОСТРОЙ 2.35.4-2011
Fig. 5. Habitat sustainability classes in STO NOSTROY 2.35.4-2011 system

Рис. 6. Группы, учитываемые в системе сертификации GREEN ZOOM
Fig. 6. Groups considered GREEN ZOOM certification system

Вышеупомянутые системы разработаны за рубежом, в то время как в России нет единого экологического стандарта. В 2011 году была разработана и введена в действие система СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011 «”Зеленое строительство”. Здания жилые и общественные. Рейтинговая система оценки устойчивости среды обитания», наиболее приспособленная к российским нормам и являющаяся на данный момент действующим нормативным документом. Данная рейтинговая система включает 46 параметров, объединенных в 10 категорий (Рис. 4). В документе оценивается качество среды обитания для города Москвы и Московской области, каждому из которых присваивается определенное количество баллов. Для сооружений, возводимых в других регионах, данные показатели применяются с учетом поправочных коэффициентов[9,10]. В результате суммирования баллов по всем группам рассчитывается фактор устойчивости объекта (S-фактор) и присуждается класс устойчивости среды обитания (Рис. 5). Однако для полномасштабного применения базы необходимо иметь экспериментальные данные, замеренные и выверенные в течение длительного срока, чтобы на их основе проводить экологическую оценку [11]. Такая база еще не окончательно сформировалась ввиду короткого периода сбора информации

Комитетом по энергоэффективности и устойчивому строительству, организованным специалистами из Российской гильдии управляющих и девелоперов, создана и с 2014 года введена система рейтинговой оценки энергоэффективности и экологичности под названием GREEN ZOOM [12,13]. Основой системы служит база LEED v.4, куда добавлены параметры и руководства, общеприменимые в России, и исключены некоторые понятия, неиспользуемые и непонятные в проектно-строительной практике в стране.

В проекте разработчики указывают на необходимость однородности систем сертификации, и, учитывая анализ критериев LEED и BREEAM, в своей системе выделяют 8 групп, определяющие энергоэффективное и экологичное строительство (Рис. 6).

По результату проведения сертификации объекту может быть присвоен сертификат: бронзовый, серебряный, золотой или платиновый.

Таким образом, исследование перечисленных систем экологической сертификации позволяет провести сравнение учитываемых критериев, сведенное в таблицу (табл.1).

Таблица 1.

Критерий оценки	LEED (США)	BREEAM (Великобритания)	СТО НОСТРОЙ 2.35.4-2011 (Россия)	GREEN ZOOM (Россия)
Чистая энергия	+	+	+	
Материалы	+	+	+*	+
Водоэффективность	+	+	+	+
Энергоэффективность	+		+	+
Региональные особенности	+			+
Транспорт	+	+		+
Инновации	+	+		+
Внутренняя среда	+		+	+
Прилегающая территория/строительная площадка	+	+		+
Внешняя среда		+	+	
Утилизация отходов		+	+	
Архитектура			+	
Экономическая эффективность			+	
Управление проектом		+	+	
Здоровье и благополучие		+		
*– экология создания, эксплуатации и утилизации объекта. Предполагает использование биопозитивных материалов и минимизацию при строительстве и эксплуатации здания				

ВЫВОДЫ

На данный момент в России активно осуществляется сертификация сооружений. Множество филиалов международных компаний сертифицируют объекты по стандартам BREEAM и LEED. Так, например, филиал JLL в Москве провел оценку своего офиса в Москве одновременно по двум системам: BREEAM и LEED; бизнес-центр Greendale (г. Москва) получил самый высокий рейтинг по системе BREEAM – Превосходно[14], заводу SKF в городе Тверь присвоен сертификат LEED Золото[15]. Однако оценка осуществляется по стандартам, разработанным в других государствах. Для выхода зеленого строительства в России на новый уровень, необходимо укрепление положения существующих баз СТО НОСТРОЙ и GREEN ZOOM в российском строительстве и активное их применение. Это необходимо не олько с точки зрения зеленого строительства, безвредной среды обитания для человека и природы, но и с точки зрения повышения уровня конкурентоспособности все задействованных организаций, а также привлечения арендодателей

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный сайт ООН. Задачи устойчивого развития. Задача 7: обеспечение доступной, надежной и устойчивой энергии для всех [Электронный ресурс]. URL: https://www.un.org/sustainabledevelopment/energy/

2. Официальный сайт LEED. [Электронный ресурс]. URL: http://leed.usgbc.org/leed.html

3. Чемисов Н.Д. Солнцезащитные средства в архитектуре – путь к энергосбережению// Строительство и техногенная безопасность №3 (55) - 2016

4. Официальный сайт BREEAM. Как работает сертификация BREEAM. [Электронный ресурс]. URL: https://www.breeam.com/discover/how-breeam-certification-works/

5. А. Корягина. Системы сертификации зеленого строительства. Девелопмент. Эко-сертификация №1(89-90) 2011. URL: http://www.beteninternational.com/sites/default/files/file/2011_04_03_COMMERCIAL_PROPERTY_Certification_GKA.pdf

6. Официальный сайт BREEAM. Здание с самой высокой оценкой BREEAM. [Электронный ресурс]. URL: https://www.breeam.com/case-studies/offices/bloomberg-london/

7. Нагаева З.С., Межмидинов А.А. Современные тенденции в формировании жилой среды // Строительство и техногенная безопасность №51 - 2014

8. Официальный сайт ООН. Задачи устойчивого развития. Задача 12: обеспечение устойчивого потребления и моделей производства. [Электронный ресурс]. URL:

https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/

9. СТО НОСРОЙ 2.35.4-2011«“Зеленое строительство”. Здания жилые и общественные. Рейтинговая система оценки устойчивости среды обитания»

10. СТО НОСТРОЙ 2.35.68-2012 «“Зеленое строительство”. Здания жилые и общественные. Учет региональных особенностей в рейтинговой системе оценки устойчивости среды обитания»

11. Системы зеленых стандартов в России, применяющиеся в строительстве. [Электронный ресурс]. URL: http://bim-proektstroy.ru/?p=212

12. Сертификация зданий. Стандарт Green Zoom. [Электронный ресурс]. URL: http://bim-proektstroy.ru/?p=1881

13. Практические рекомендации по снижению энергоемкости и повышению экологичности объектов гражданского и промышленного строительства. GREEN ZOOM. Книга 1, 2015

14. А. Дубровский, К. Агапова. Уникальный проект и уникальная сертификация. Электронный журнал «Зеленый город». [Электронный ресурс]. URL: http://green-city.su/unikalnyj-proekt-i-unikalnaya-sertifikaciya/

15. С. Дувинг. «Зеленые» здания в России и за рубежом. Вестник «ЮНИДО в России», №8

REFERENCES

1. UN Official Website. Sustainable development goals. Goal 7: ensuring affordable, reliable and sustainable energy for all. URL: https://www.un.org/sustainabledevelopment/energy/

2. LEED Official Website. URL: http://leed.usgbc.org/leed.html

3. Chemisov N. Sun protection means in architecture - a way to energy saving // Construction and Environmental Safety N.3 (55)– 2016

4. BREEAM Official Website. URL: https://www.breeam.com/discover/how-breeam-certification-works/

5. Koryagina A. Certification systems of green construction. Development. Eco-certification N.1 (89-90) 2011. URL: http://www.beteninternational.com/sites/default/files/file/2011_04_03_COMMERCIAL_PROPERTY_Certification_GKA.pdf

6. BREEAM Official Website. URL: https://www.breeam.com/case-studies/offices/bloomberg-london/

7. Nagaeva Z., Mezhmidinov A. Modern trends in the formation of residential environments // Construction and Environmental Safety N.51 – 2014

8. UN Official Website. Sustainable development goals. Goal 12. URL: https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/

9. STO NOSTROY 2.35.4-2011 “Green construction. Residential and public buildings. Rating evaluation system of habitat sustainability”

10. STO NOSTROY 2.35.68-2012 “Green construction. Residential and public buildings. Considering region features in rating evaluation system of habitat sustainability”

11. Green standards systems in Russia used in construction. URL: http://bim-proektstroy.ru/?p=212

12. Building certification. Green Zoom standard. URL: http://bim-proektstroy.ru/?p=1881

13. Practical recommendations for reducing energy intensity and improving the environmental performance of civil and industrial construction. GREEN ZOOM. Book 1, 2015

14. Dubrovsky A., Agapova K. Unique project and unique certification. Electronic magazine "Green City". URL: http://green-city.su/unikalnyj-proekt-i-unikalnaya-sertifikaciya/

15. S. Duving. "Green" buildings in Russia and abroad. Bulletin "UNIDO in Russia", No. 8

MODERN ECOLOGICAL CERTIFICATION SYSTEMS IN RUSSIA AND ABROAD

Sheina S.G., Ulianskaya V.V.

Summary Most often used ecological certification systems of construction objects are considered. Criteria which are used as a base for building certification are listed, for each system. Evaluation systems for enumerated standards are provided. Example of building with the highest rating is considered, as a one of energy efficient ecological certification point of view. Presence of different evaluation parameters in enumerated standards are given in table.

Key words: ecological certification system, green construction, green building, energy efficiency assessment, ecological standard.

УДК 624+517

ФРАКТАЛЬНОСТЬ И СИММЕТРИЯ В АРХИТЕКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ СООРУЖЕНИЙ

Маяцкая И.А.[*], Язьева С.Б.[**], Язьев Б.М.[***]

Академия строительства и Архитектуры, ФБГОУ ВПО
«Донской государственный технический университет»
Адрес: г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162
e-mail[*]: irina.mayatskaya@mail.ru; e-mail[**]: iskra1917@bk.ru;
e-mail[***]: ps62@yandex.ru;

Аннотация. В работе вопросы формообразования в архитектуре на основе фрактального анализа при проектировании уникальных сооружений. Даны понятия фрактала, симметрии и асимметрии. В данном исследовании внимание уделено рассмотрению различных фракталов и их влияние на форму и структуру сооружения.

Ключевые слова: модель, объект, конструкция, форма, сооружение, архитектура, фрактал, самоподобие, симметрия.

ВВЕДЕНИЕ

Фрактал – это новое понятие в архитектуре, это инструмент, с помощью которого можно создать удивительные сооружения. Используя фрактальный принцип строения, современные архитекторы создают объекты высочайшего уровня, создавая здания, которые не только красивы и уникальны, но и практичны, устойчивы [1]-[3].

Современные сооружения строятся с использованием принципа фрактальности. Но есть здания, построенные на основе симметрии или асимметрии, и которые также гармонично вписываются в окружающую среду.

В статье рассматривается взаимосвязь фрактальности и симметрии, их влияние на архитектурные формы сооружений.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Фракталы и архитектура. Целью исследования является понимание самого понятия «фрактал», и как он связан с элементами архитектуры и с сооружениями в целом. Фракталы применяются в математическом моделировании объектов. Фрактальная геометрия – это метод, который может описать не только форму объекта, но и само явление. Фракталы описывают природные объекты самой различной формы и процессы их существования [4]-[7].

Принципы формообразования архитектурных объектов включают в себя не только симметрию или асимметрию, но и фрактальность.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Фрактальная геометрия возникла в прошлом столетии. Понятие «фрактал» ввел Бенуа Мандельброт, характеризуя его как самоподобный объект с нерегулярной структурой [8]. На всех уровнях повторяется геометрия исследуемого элемента с учетом фрактальной размерности.

Фрактальность объекта описывают следующие понятия: самоподобие, что характеризует элемент исследования как часть целого, подобного самому целому; способность к развитию; нерегулярность; рекурсивность; дробная размерность.

Существуют несколько видов фракталов: геометрические, алгебраические, системы итерируемых функций, которые хорошо описывают природные объекты. Но для описания архитектурных сооружений лучше применять мультифракталы и квазифракталы.

Мультифракталы – это неоднородные фрактальные объекты, а квазифракталы характеризуются неполнотой и неточностью повторений структуры.

Мультифрактальный анализ часто применяется при проектировании уникальных по форме и структуре зданий. На рис. 1 и 2 представлены здания с симметричным расположением элементов, которые представляют собой геометрические фракталы.

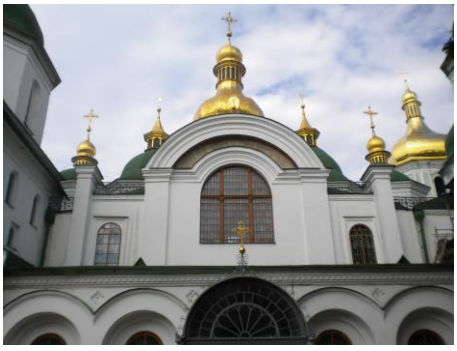


Рис. 1. Собор с арочными элементами в виде подобных фигур, близких по геометрической форме
Fig. 1. Cathedral with arched elements in the form of similar figures similar in geometry

Рис. 2. Здание с окнами, которые представляют собой геометрические квазифракталы
Fig. 2. Building with windows, which are geometric quasi-fractals

Симметрия – основа гармонии в архитектуре (рис. 3. 4) [9], [10]. Это свойство присуще и природным объектам. В понятие «симметрии» включены такие свойства как пропорциональность, соразмерность в расположении частей целого в пространстве или на плоскости, полное соответствие одной половины целого другой половине.

Рис. 3. Храм с симметричным расположением элементов
Fig. 3. Temple with a symmetrical arrangement of elements

Противоположное понятие – это асимметрия, которая стала встречаться в современной архитектуре. Но при проектировании сооружений и элементов архитектуры необходимо учитывать принцип гармоничного единства архитектурных форм несимметрично расположенных в пространстве, что тоже дает совершенную форму конструкции.

Рис. 4. Собор с симметричным и асимметричным расположением элементов
Fig. 4. Cathedral with a symmetrical and asymmetrical arrangement of elements

Если симметрия и асимметрия часто встречается в элементах сооружений и внутреннем его пространстве, то фрактальность присутствовала тоже, но это было на интуитивном уровне архитектора. В современной архитектуре широко применяется принцип фрактальности, что позволяет проектировать и создавать уникальные современные сооружения. На рис. представлен ряд зданий, которые могут дать представление о стохастическом геометрическом фрактале в архитектуре. И это гармонично.

Рис. 5. Собор с симметричным и асимметричным расположением фрактальных элементов
Fig. 5. Cathedral with symmetric and asymmetric arrangement of fractal elements

Фрактальная архитектура бывает интуитивной и сознательной. Под интуитивной фрактальностью подразумевается структура многих шедевров мировой архитектуры прошлого, в которых архитектор или строители неосознанно использовали фрактальные принципы. При этом самоподобные формы отражают различные алгоритмы формообразования (рис. 6 и 7).

В современном мире архитекторы применяют методы фрактальной геометрии осознанно, тоже создавая шедевры архитектуры.

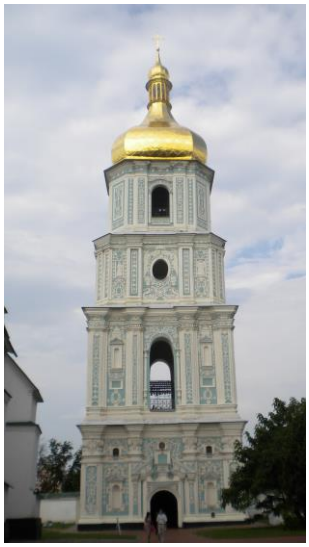


Рис. 6. Колокольня с фрактальным расположением элементов
Fig. 6. Bell tower with fractal arrangement of elements

При проектировании рассматривается фрактальная модель уже самого объекта с окружающей его средой, например, модель городского пространства с учетом внешней геометрией объекта и его внутреннего пространства и организации.

Рис.7. Часть собор с симметричным и фрактальным расположением элементов
Fig.7. Part of the cathedral with a symmetric and fractal arrangement of elements

На рис. 8 показан фрактал простой формы, полученный с помощью рекурсивных построений, которые предполагают что, каждый результат предыдущего этапа служит началом следующего этапа цикла фрактальной структуры, будь то архитектурная форма или элемент дизайна. Число цикла обычно не превышает четырех.

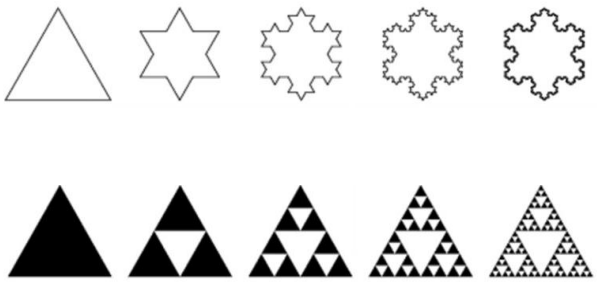


Рис. 8. Фракталы, полученные в результате рекурсивных построений треугольника
Fig. 8. Fractals obtained as a result of recursive constructions of a triangle

Свойство точного самоподобия характерно для регулярных фракталов, которые реже встречаются в формообразовании архитектурных элементов. Чаще всего используются нерегулярные и стохастические фракталы, которые дают объекту своеобразный вид, лишь только напоминает исходный начальный элемент, но их статистические характеристики совпадают.

Математики построили много замечательных фракталов с дробной размерностью, которые приведены в [11]-[15]. и многие строятся путем итераций: бесконечное повторение процесса замены одного элемента некоторой комбинацией подобных операций.

Используя фрактальность структуры архитектурного объекта, можно создать удивительные сооружения с потрясающей красотой (рис. 9, 10).

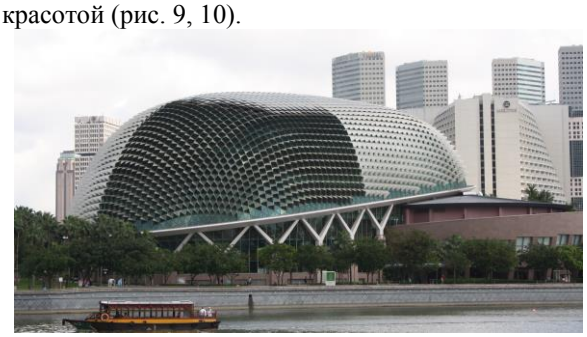


Рис. 9. Современный комплекс сооружений с фрактальной структурой формы
Fig. 9. Modern complex of structures with a fractal form structure

Рис. 10. Мост с симметрично расположенными опорами
Fig. 10. Bridge with symmetrically arranged supports

Интересны фрактальные структуры, которые обладают стохастическим характером.

Фрактальное моделирование применяется как средство визуализации и для описания сложных по форме зданий и городов. В настоящее время проекты разрабатываются не для одного здания, а для целого комплекса, района и даже нескольких кварталов.

ВЫВОДЫ

Фрактальный принцип развития природных и геометрических объектов используется в элементах архитектуры и самих сооружениях. Этот принцип применяется для внешнего решения объекта, и для внутреннего пространства сооружения. Но не надо забывать о симметричных и асимметричных структур формообразования в архитектуре.

После появления фрактальной геометрии в архитектуре стало развивать новое направление проектирования, которое можно охарактеризовать как осознанная фрактальность архитектурных форм, при этом происходит рождение удивительных по форме и структуре сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кушнер М. Будущее архитектуры. 100 самых необычных зданий. – М.: АСТ, 2016. – 176с.

2. Трубе Г. Путеводитель по архитектурным формам. – М.: Архитектура – С, 2014. – 216 с.

3. Гнедич П.П. Мировая архитектура. – М.: Эксмо-Пресс, 2012. –240 с.

4. Villesenor D. Architecture and nature. – New York: Rizzoli, 2015. – 334 p.

5. Mayatskaya I, Yazyev B., Yazyeva S., Kulinich P. Building construction : Architecture and nature.// MATEC Web of Conferences, 2017.

6. Маяцкая И.А. Распознавание природных объектов с фрактальной поверхностью.// Международный научно-исследовательский журнал, 2017.– № 7–3(61), С.54–58.

7. Маяцкая И.А., Медведева Т.А. Математическое моделирование растительных объектов с использованием элементов фрактальной геометрии.// Системный анализ, управление и обработка информации. Труды VII международного семинара, 2016, С.44–49.

8. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.

9. Васильков Г. В. Эволюционная теория жизненного цикла механических систем: Теория сооружений. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. –320 с.

10. Смолина Н.И. Традиции симметрии в архитектуре. – М.: Стройиздат, 1990. – 345 с.

11. Морозов А.Д.. Введение в теорию фракталов. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского университета, 2004. – 160 с.

12. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. – М.: Техносфера, 2006. – 488 с.

13. Мандельброт Б. Фракталы и хаос. Множество Мандельброта и другие чудеса // Бенуа Мандельброт. — Ижевск,: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2009. — 392 с.

14. Балханов В.К. Основы фрактальной геометрии и фрактального исчисления. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2013. – 224 с.

15. Божочин С.В., Паршин Д.А. Фракталы и мультифракталы. — Ижевск,: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. — 128 с.

REFERENCES

1. Kushner M. The Future of Architecture. 100 of the most unusual buildings. - M .: AST, 2016. - 176c.

2. Trube G. Guide to architectural forms. - M .: Architecture - C, 2014. - 216 c.

3. Gnedich P.P. World architecture. - M .: Eksmo-Press, 2012. –240 p.

4. Villesenor D. Architecture and nature. - New York: Rizzoli, 2015. - 334 p.

5. Mayatskaya I, Yazyev B., Yazyeva S., Kulinich P. Building construction: Architecture and nature.// MATEC Web of Conferences, 2017.

6. Mayatskaya I.A. Recognition of natural objects with a fractal surface. // International Scientific Research Journal, 2017.– № 7–3 (61), C.54–58.

7. Mayatskaya I.A., Medvedeva T.A. Mathematical modeling of plant objects using elements of fractal geometry. // System analysis, management and information processing. Proceedings of the VII International Seminar, 2016, P.44–49.

8. Mandelbrot B. Fractal geometry of nature. - Moscow: Institute of Computer Science, 2002. - 656 p.

9. Vasilkov G.V. The Evolutionary Theory of the Life Cycle of Mechanical Systems: The Theory of Structures. - M .: Publishing House LKI, 2008. –320 p.

10. Smolina N.I. Traditions of symmetry in architecture. - M .: stroiizdat, 1990. - 345 c.

11. Morozov AD. Introduction to the theory of fractals. - Nizhny Novgorod: University Publishing House of Nizhny Novgorod, 2004. - 160 p.

12. Kronover R.M. Fractals and chaos in dynamic systems. - M .: Technosphere, 2006. - 488 c.

13. Mandelbrot B. Fractals and chaos. Mandelbrot set and other wonders // Benoit Mandelbrot. - Izhevsk ,: SIC "Regular and chaotic dynamics", 2009. - 392 p.

14. Balkhanov V.K. Basics of fractal geometry and fractal calculus. - Ulan-Ude: Publishing house of the Buryat State University, 2013. - 224 c.

15. Bozhochin S.V., Parshin D.A. Fractals and multifractals. - Izhevsk ,: SIC "Regular and chaotic dynamics", 2001. – 128

FRACTALITY AND SYMMETRY IN ARCHITECTURAL ELEMENTS OF CONSTRUCTIONS

Mayatskaya I.A., Yazyeva S.B., Yazyev B.M.

Summary: Шin the paper, the questions of form-building in architecture on the basis of fractal analysis in the design of unique structures. The concepts of fractal, symmetry and asymmetry are given. In this study, attention is given to consider various fractals and their effect on the shape and structure of the structure.

Key words: model, object, structure, form, structure, architecture, fractal, self-similarity, symme

Раздел 2. Строительство

УДК 614.012.454

ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕПЛАСТИКОВЫХ ЛАМЕЛЕЙ ПРИ УСИЛЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Маяцкая И.А., Польской П.П. , Георгиев С.В. Федченко А.Е.

Академия строительства и Архитектуры, ФБГОУ ВПО
«Донской государственный технический университет»
Адрес: г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162
e-mail*: irina.mayatskaya@mail.ru; petr.polskoy@bk.ru; georgiev.sergey@list.ru; aefedchenko@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются возможные варианты увеличения прочности железобетонных конструкций при использовании композиционных материалов. Одним из циклов работы железобетонных конструкций является их усиление, которое осуществляется в процессе ремонта или реконструкции зданий. Традиционное усиление железобетонных конструкций осуществляется с использованием стали и железобетона. В последнее время этот метод в ряде случаев отступает на второй план. Все большее применение находят современные методы усиления с использованием композитных материалов, включая ламели. Однако, многие вопросы, связанные с усилением конструкций, до сих пор не изучены. Особенно это касается конструкций из высокопрочных бетонов. В этой связи, необходимо исследовать работу и методы расчета конструкций, в частности сжатых стоек, изготовленных из высокопрочных бетонов и усиленных углепластиковыми ламелями с учётом их реального напряжённо-деформированного состояния и установить области их наиболее рационального использования. Именно этим вопросам в настоящее время уделено пока недостаточно внимания.

Предмет исследования: Рассматриваются современные методы усиления композитными материалами железобетонных конструкций. Например, материалы на основе углеродных волокон, поставляемых в виде ткани или полос – ламинатов. Необходимо проводить экспериментальные исследования по определению зон для усиления конструкции колонны углепластиковыми ламелями.

Материалы и методы: Рассматриваются современные методы усиления композитными материалами на основе углеродных волокон.

Результаты: Рассматриваются углепластиковые ламели. Экспериментальным путем определяются зоны их расположения.

Выводы: Применение композиционных материалов позволяет увеличить срок эксплуатации и прочность железобетонных конструкций, применяемых в строительстве. Одним из циклов работы конструкций является их ремонт или реконструкция, которые могут включать усиление элементов. Поиск возможных вариантов усиления строительных конструкций, например, колонн углепластиковыми ламелями, актуален.

Ключевые слова: конструкция, колонна, сооружение, полимерный композиционный материал, ламель, углепластик, оптимальность.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ данных, приведенных в открытой печати, показывает, что в настоящее время актуальной является проблема ремонта и восстановления несущей способности железобетонных конструкций, которая невозможна без их усиления. В последнее время необходимость усиления возникает уже в процессе строительства [1]–[4]. Традиционные типы усиления железобетонных конструкций – стальными и железобетонными обоймами и рубашками – в настоящее время уступают место современным методам усиления композитными материалами. Особенно это касается материалов на основе углеродных волокон, поставляемых в виде ткани или полос – ламинатов [5]–[10]. Среди углепластиков наиболее широко в системах внешнего армирования используются продукция фирм «Basf» (рис. 1), «Дон-композит», «FibArm» и «S&P Clever Reinforcement» холдинговой компании «Композит», а также системы структурного

усиления на основе углепластика «Sika Carbo Dur System» фирмы «Sika».

Рис. 1. Углеламинат фирмы «Basf».
Fig. 1. Carbonate of the firm "Basf".

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования – это определение зон для усиления конструкции колонны углепластиковыми ламелями.

Методика и результаты исследования

Композитные материалы в качестве внешнего армирования могут использоваться при усилении практически для всех типов железобетонных конструкций.

В наименьшей степени изучены сжатые железобетонные элементы, которые в зависимости от величины эксцентриситета приложения нагрузки могут испытывать три вида напряженно-деформированного состояния:

– сжатые элементы со случайным эксцентриситетом, при $e_0=0$ или условно центрально сжатые;

– внецентренно-сжатые железобетонные элементы с малым эксцентриситетом при $e_0 \leq 0{,}15h$;

– внецентренно-сжатые железобетонные элементы с большим эксцентриситетом при $e_0 > 0{,}3h$.

С учётом изложенного, можно сказать, что при $e_0=0$ – все сечение элемента, равномерно сжато. При малых эксцентриситетах, грань стоек, противоположная точке приложения нагрузки, сжата уже неравномерно; при больших значениях эксцентриситета $e_0>h$ четко возникают сжатая и растянутая грани. Следовательно, меняются и методы внешнего армирования а именно, – усиление колонн в поперечном или продольном направлениях.

Естественно, что растянутую конструкции невозможно усилить установкой обоймы из композиционных материалов [11]. Зато в этом случае рационально усиление колонны приклеиванием полос из композиционного материала в растянутой зоне сечения аналогично изгибаемым элементам. При этом, чем больше эксцентриситет приложения нагрузки при неизменном армировании, тем большая часть сечения бетона будет работать на растяжение. Естественно, эффективность усиления колонн обоймами из композиционных материалов при этом снижается.

При увеличении этажности здания, особенно при неполном каркасе, когда вышерасположенная нагрузка передается по оси колонны или со случайным эксцентриситетом, наиболее эффективной становится обойма. Вместе с тем, в ряде случаев внецентренно сжатые железобетонные конструкции можно усилить приклеиванием полос композиционного материала к растянутой грани элемента в сочетании с поперечными хомутами (рис. 2,а).

а). б).

Рис. 2. Внешний вид полос из углеламината, наклеенных на растянутой (а) и сжатой (б) гранях опытных образцов на этапе, предшествующем разрушению.
Fig. 2. Appearance of strips of carbon laminate glued on the stretched (a) and compressed (b) on the surfaces of the experimental samples on stage prior to destruction.

Опыты показали, что особенно эффективна будет установка узких полос или круглых стержней из полимерных композиционных материалов в пазах, прорезанных в защитном слое бетона, так как в этом случае наиболее полно используется высокая прочность композиционного материала на растяжение и исключается возможность его отслоения от усиливаемой конструкции (рис. 2,б). При этом вклеенные сжатые элементы не теряют устойчивость вплоть до разрушения бетона.

Обычно усиление проводят приклеиванием полос только в одном радиальном направлении или в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Второй вариант усиления часто используется для усиления безбалочных перекрытий. При усилении колонн также возможно комбинированное усиление, например, когда ламели приклеиваются в продольном направлении, а холсты в виде хомутов в радиальном. Однако, смыл такого армирования в корне отличается от внешнего армирования изгибаемых элементов.

Всё вышеизложенное хорошо прослеживается в работах [10, 11]. с использованием коротких ($\lambda_h = 10$) и гибких ($\lambda_h = 20$) элементов. Усиление колонн авторы исследования выполняли углепластиковыми ламелями – полосами шириной 50мм и толщиной 1,2 мм и холстами из углеткани. Использовались различные варианты усиления: полные обоймы, обоймы с разрывами, хомуты различной ширины и шага, а также продольное усиление растянутой, сжатой либо обеих граней стоек с использованием углеламинатов.

а). б). в).

Рис.3. Внешний вид гибкой колонны под нагрузкой, усиленной двумя углепластиковыми ламелями со стороны растянутой грани в сочетании с поперечными хомутами разной ширины: а – продольный изгиб: сжатая (б) и растянутая (в) грани колонны.

Fig.3. Appearance of the flexible column under the load, reinforced with two carbon fiber lamellas from the side of the stretched face in combination with cross-section yokes of different widths: a - longitudinal bending: compressed (b) and stretched (c) surfaces of the column.

а). б). в).

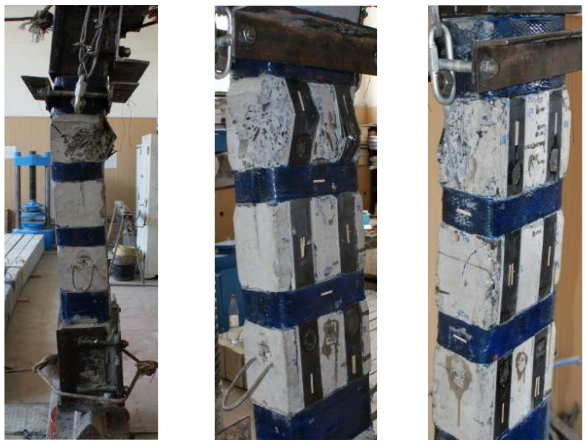


Рис.4. Внешний вид короткой колонны под нагрузкой, усиленной двумя углепластиковыми ламелями со стороны растянутой грани в сочетании с поперечными хомутами разной ширины: а – продольный изгиб: сжатая (б) и растянутая (в) грани колонны.

Fig.4. Appearance of a short column under a load reinforced with two carbon fiber lamellas from the side of the stretched face in combination with cross-section clamps of different widths: a - longitudinal bending: compressed (b) and stretched (c) surfaces of the column.

Поведение образцов под нагрузкой представлено на рис. 3 и 4. Применялось и комплексное усиление, когда на продольные элементы усиления наклеивались хомуты, чтобы избежать отслаивания внешней продольной арматуры как от растянутой, так и сжатой граней. Особенно это актуально для изгибаемых элементов.

Учитывая, что испытание сжатых образцов осуществлялось при трех значениях осевого эксцентриситета: $e_0=0$; $e_0=0{,}16h$; $e_0=0{,}32h$, удалось проследить различные виды напряженно-деформированного состояния элементов и оценить важность конструктивных хомутов при наличии внешнего продольного усиления.

Особое внимание должно уделяться наличию поперечных хомутов по торцам продольных элементов, которые обеспечивают их анкеровку. При этом важна жесткость этих хомутов, которые должны иметь ширину не мене 100 мм и состоять не менее чем из трех слоев.

Следует обратить внимание и на тот факт, что усиление сжатой зоны стоек продольными элементами не является эффективным, так как при нагрузке равной примерно $0{,}8N_{ult}$, т.е. предельной нагрузки, углепластиковые полосы разрушались от местного выпучивания между хомутами. Последнее наглядно видно на рис. 4,б.

Несмотря на изложенное, использование композитного усиления становится всё актуальнее. Расширяется и область их использования.

В частности, применение полимерных композиционных материалов, в том числе углепластиковых ламелей, возможно при усилении сооружений, расположенных в сейсмических районах. Это важно в связи с повышением сейсмической активностью в мире [12].

Стоит отметить и важность усиления мостовых конструкций, нагрузка на которые увеличилась. Это важно потому, что в настоящее время охватить весь объем финансирования на строительство новых или капитальных ремонт старых – не реально. Поэтому вопросы усиления данных конструкций является также актуальными, так как время и материальные ресурсы, затраченные на реконструкцию полимерными композиционными материалами, уменьшаются.

Не менее важна в настоящее время проблема ремонта и усиления сборных конструкций силосов и их днищ, из которых состоят эти сооружения [13, 14]. При усилении таких конструкций предлагается использовать углепластиковые ламели, установленные в радиальном и продольном направлениях.

Увеличение объемов использования высокопрочных бетонов ставит и новые задачи по исследованию усиленных конструкций с использованием композитных материалов.

Важность постановки этого вопроса связана с необходимостью повышения надежности сцепления клеевого состава с поверхностями высокопрочного бетона и композитного материала. Известно, что поверхности углепластиковой ламели разные: одна – гладкая и другая – шероховатая, которая приклеивается к бетонной поверхности. Но этого не достаточно для увеличения сцепления в зоне контакта клеевого состава. При определенных условиях происходит отрыв полосы, поэтому предлагается шероховатую поверхность сделать рифленой. Обычно рифление на элементах конструкций из полимерных композиционных делают в продольном и перпендикулярном направлении относительно длины детали [15]–[19]. Накатывание рифлений осуществляют как методом

холодной штамповкой (например, в поперечном направлении), так в процессе формования методом горячей прокатки (например, в продольном направлении).

Для более прочного соединения полосы и бетонного основания предлагается изменить направление гребней рифления, сделать их отличными от прямых непрерывных линий (рис. 5).

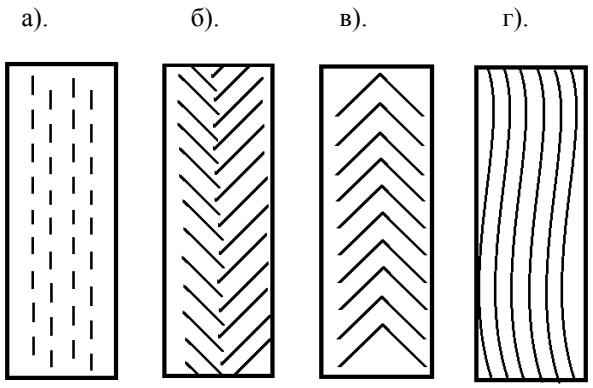


Рис. 5. Форма расположения гребней для рифленых полос: а – дискретно, вдоль полосы; б – в разбежку под углом к продольной оси; в – под углом симметрично к продольной оси; г – криволинейные сплошные гребни в продольном направлении.

Fig. 5. The location of the ridges form of corrugated strips a - discretely, along the strip; b - in the runoff at an angle to the longitudinal axis; в - at an angle symmetrically to the longitudinal axis; d - curvilinear continuous ridges in the longitudinal direction.

Гребни можно располагать дискретно как симметрично, так и в шахматном порядке, под углом или в виде криволинейных линий

Для изготовления рифлений такой формы необходимо установить подвижное приспособление в формовочную головку оборудования. Высота гребня не должна превышать 1 мм, т.е. сопоставима с толщиной клеевого слоя.

Применение рифленых ламелей с гребнями более сложной формы в зоне контакта с приклеиваемой поверхностью конструкции создает на наш взгляд структуру более прочных связей на границе раздела «полоса из углепластика – бетонное основание». Исследования в этом направлении должны быть продолжены, так как указанный подход содействует улучшению технологических и эксплуатационных свойств ламелей и делает более эффективным усиление строительных конструкций.

К изложенному добавим и тот факт, что при минимальном весе и простоте технологии усиления применение композитных материалов позволяет увеличить несущую способность и сроки эксплуатации железобетонных конструкций, применяемых в строительстве.

Выводы и направления дальнейших исследований

Применение композиционных материалов позволяет увеличить срок эксплуатации и прочность железобетонных конструкций, применяемых в строительстве. Железобетонные элементы конструкций в виде колонн, балок, перекрытий повсеместно применяются в конструкциях зданий и сооружений промышленного и гражданского строительства.

В подавляющем большинстве случаев колонны служат опорами для других элементов сооружений, например, ригелей, плит перекрытий, прогонов, балок. Одним из циклов работы конструкций является их ремонт или реконструкция, которые могут включать усиление элементов. Хотя в последнее время необходимость усиления конструкций возникает еще в процессе возведения здания.

Поиск возможных вариантов усиления строительных конструкций, например, колонн углепластиковыми ламелями, актуален.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маилян Р.Л., Маилян Д.Р., Веселев Ю.А.. Строительные конструкции [Текст]: учебное пособие – Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. – 875 с.

2. Мэттьюз Ф., Ролингс Р. Композитные материалы, Механика и технология [Текст] Москва : Техносфера, 2004. –408с.

3. Польской П.П., Маилян Д.Р. Об уточнении расчетов прогибов балок, усиленных композитными материалами [Текст] //Научное обозрение, 2014. – № 12.– С.493–496.

4. Польской П.П., Мерват Хишмах, Михуб Ахмад. О возможности использования круглых углепластиковых стержней в качестве рабочей арматуры для изгибаемых элементов [Текст] //Научное обозрение, 2012. – № 6.– С.211–213.

5. Маяцкая И.А., Федченко А.Е., Усиление конструкций архитектурных памятников с помощью полимерных композиционных материалов [Текст]// Международный научно-исследовательский журнал.– Екатеринбург, 2017.– № 05(59), Часть 1. – С. 58 – 61

6. Demchenko D.B., Mayatskaya I.A., Fedchenko A.E. Strengthening of building structures with polymer composite materials [Text] // Solid State Phenomena, 2017. – 265 SSP.– P.91–96.

7. Хаютин Ю.Г., Чернявский В.Л., Аксельрод Е.З. Применение углепластиков для усиления строительных конструкций [Текст]// Бетон и железобетон, 2001, №6, С.17–20;2003, №1, С.25–29.

8. Маилян Д.Р., Польской П.П. О расчете ширины нормальных трещин балок, усиленных стекло- и углепластиком [Текст] //Научное обозрение, 2014. – № 12.– С.490–493. Польской П.П., Маилян Д.Р., Мерват Хишмах, Кургин К.В. О деформативности изгибаемых элементов из тяжелого бетона при двухрядном расположении углепластиковой и комбинированной арматуры [Электронный ресурс] //Инженерный вестник Дона, 2013, №4 – Режим доступа: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2094

Маилян Д.Р., Польской П.П., Георгиев С.В. Конструкция каркасов и схемы испытания опытных стоек, усиленных углепластиком [Текст] // Научное обозрение, 2014. – № 10, ч.3.– С. 667–670.

9. Польской П.П., Георгиев С.В. О программе исследования сжатых железобетонных элементов, усиленных композитными материалами на основе углепластика [Текст] // Научное обозрение, 2014. – № 10, ч.3.– С. 662–666.

10. Грановский А.В., Костенко А.Н., Молчанов А.Л. Усиление железобетон- ных колонн каркасных зданий в сейсмоопасных районах с использованием элементов внешнего армирования из углеволокна [Текст]// «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений», 2007, №2, С.36-38.

11. Zagutin D.S., Mayatskaya I.A., Fedchenko A.E. Strengthening of the mini silo construction made of reinforced concrete blocks with carbon fiber lamellae [Text] // Solid State Phenomena, 2017. – 265 SSP.– P.86–90.

12. Маяцкая И.А., Еремин В.Д., Федченко А.Е. Сборные железобетонные конструкции и их усиление полимерными композиционными материалами [Текст]// Инновационные технологии при решении технических задач: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф., 5 сентября.–Волгоград: АЭТЕРНА, 2017. – С. 37 – 39

13. Крыжановский В.К., Кербер М.Л., Бурлов В.В., Паниматченко А.Д. Производство изделий из полимерных материалов [Текст] СПб.: Профессия, 2004. –464с.

14. Новиков А.Ф. Полимерные материалы для строительства [Текст] М.: Высш. шк., 1995. –448с.

15. Чернин И.З., Смехов Ф.М., Жердев Ю.В. Эпоксидные полимеры и композиции [Текст] М.: Химия, 1983. –416с.

16. Шалун Г.Б., Сурженко Е.М. Слоистые пластики [Текст] Л.: Химия, 1978. –232с.

17. Зубов П.И., Сухарева Л.А. Структура и свойства полимерных покрытий [Текст] М.: Химия, 1982. –256с

REFERENCES

1. Mailyan R.L., Mailyan D.R., Vesylev Yu.A. Building structures [Text]. Rostov-on-Don: Phoenix. 2008. 875 p. (In Russian)

2. Matthews F., Rawlings R. Composite Materials, Mechanics and Technology [Text]. Moscow: Technosphere. 2004. 408 p. (In Russian)

3. Polskoy P.P., Mailyan D.R. On the refinement of calculations of deflections of beams reinforced with composite materials [Text]. // Scientific Review. 2014. N 12. pp. 493–496. (In Russian)

4. Polskoy P.P., Mervat Hishmah, Mihub Ahmad. On the possibility of using round carbon-fiber rods as a working armature for bent elements [Text]. // Scientific Review. 2012. N 6. pp. 211–213. (In Russian)

5. Mayatskaya I.A., Fedchenko A.E. Strengthening of architectural monuments structures using polymer composite materials [Text].// International research journal. 2017. N 05(59), Part 1. pp. 58 – 61. (In Russian)

6. Demchenko D.B., Mayatskaya I.A., Fedchenko A.E. Strengthening of building structures with polymer composite materials [Text] // Solid State Phenomena, 2017. – 265 SSP.– pp.91–96.

7. Khayutin Yu.G., Chernyavsky V.L., Axelrod E.Z. The use of carbon fiber reinforced plastics for strengthening building structures [Text]. // Concrete and Reinforced Concrete. 2001. N 6. pp. 17–20., 2003. N 1. pp. 25–29. (In Russian)

8. Mailyan D.R., Polskoy P.P. On calculating the width of normal cracks of beams reinforced with glass and carbon plastic[Text]. // Scientific Review. 2014. N 12. pp. 490–493. (In Russian)

9. Polskoy P.P., Mailyan D.R., Mervat Khishmakh, Kurgin K.V. On deformability of bent elements from heavy concrete with double-row arrangement of carbon-plastic and combined reinforcement // Engineering messenger of the Don. 2013. N 4. Access mode: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2094 . (In Russian)

10. Mailyan D.R., Polskoy P.P., Georgiev S.V. Frame constructions and test circuits for experimental racks reinforced with carbon fiber reinforced plastic [Text].// Scientific Review. 2014. N 10,Part 3. pp. 667–670. (In Russian)

11. Polskoy P.P., Georgiev S.V. About the study of compressed concrete elements reinforced composite materials based on carbon fiber [Text]. // Scientific Review. 2014. N 10, Part 3. pp. 662–666. (In Russian)

12. Granovsky A.V., Kostenko A.N., Molchanov A.L. Strengthening of reinforced concrete columns of frame buildings in seismically dangerous areas using elements of external reinforcement from carbon fiber [Text]. // Seismic resistant construction. Security of buildings. 2007. N 2. pp. 36-38. (In Russian)

13. Zagutin D.S., Mayatskaya I.A., Fedchenko A.E. Strengthening of the mini silo construction made of reinforced concrete blocks with carbon fiber lamellae [Text] // Solid State Phenomena, 2017. – 265 SSP.– P.86–90.

14. Mayatskaya I.A., Eremin V.D., Fedchenko A.E . Prefabricated reinforced concrete structures and their reinforcement with polymer composite materials [Text]. // Proceedings of the International conference. innovative technologies in solving technical problems. September 5. Volgograd. 2017. pp. 37 – 39. (In Russian)

15. Kryzhanovskiy V.K., Kerber M.L., Burlov V.V., Panimatchenko A.D. Manufacture of plastic products [Text]. St. Petersburg: Profession. 2004. 464 p. (In Russian)

16. Novikov A.F. Polymeric materials for construction [Text]. Moscow: High school. 1995. 448 p. (In Russian)

17. Chernin I.Z., Smekhov F.M., Zherdev Yu.V. Epoxy polymers and compositions [Text]. Moscow: Chemistry. 1983. 416 p. (In Russian)

18. Shalun G.B., Surzhenko E.M. laminates [Text]. Moscow: Chemistry. 1978. 232 p. (In Russian)

19. Zubov P.I., Suhareva L.A. Structure and properties of polymer coatings [Text]. Moscow: Chemistry. 1982. 256 p. (In Russian)

APPLICATION OF CARBON PLASTIC LAMELLAS WITH THE STRENGTHENING OF CIVIL STRUCTURES

Mayatskaya I.A., Polskoy P.P., Georgiev S.V., Fedchenko A.E.

Annotation. The article discusses possible options for increasing the strength of reinforced concrete structures using composite materials. One of cycles of work of reinforced concrete designs is their strengthening which is the state of their repair or reconstruction of buildings, including the stages of strengthening the elements. Traditional types of reinforced concrete structures are steel and reinforced concrete clips and shirts. In recent years, this method in some cases recedes into the background. Increasing the use of modern methods of strengthening using composite materials, including the slats. However, many issues related to the reinforcement of structures have not been studied so far. This is especially true of structures made of high-strength concrete. In this regard, it is necessary to study the work and methods of calculation of structures, in particular compressed pillars made of high-strength concrete and reinforced with carbon-fiber lamellas taking into account their real stress-strain state and establishing areas of their most rational use. It is to these issues that insufficient attention has so far been paid.
Subject: Modern methods of strengthening reinforced concrete structures with composite materials are considered. For example, materials based on carbon fibers, supplied in the form of fabric or laminates. It is necessary to carry out experimental studies to determine the zones for strengthening the structure of the column with carbon fiber lamellae.
Materials and methods: Modern methods of reinforcement with composite materials based on carbon fibers are considered.
Results: We consider carbon fiber lamellae. The zones of their location are determined experimentally.
Conclusions: The use of composite materials allows to increase the service life and strength of reinforced concrete structures used in construction. One of the cycles of the work of structures is their repair or reconstruction, which may include strengthening elements. Search for possible options for strengthening building structures, for example, columns with carbon fiber lamellas, is relevant.
Key words: structure, column, structure, polymeric composite material, lamellas, carbon plastic, optimality.

УДК 624.014

ПОВЫШЕНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КАРКАСА ДВЕНАДЦАТИЭТАЖНОЙ ГОСТИНИЦЫ ДЛЯ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Синцов В.П., Гавина А. С., Синцов А.В.

Академия Строительства и Архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,
адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181,
e-mail: sin59@bk.ru

Аннотация. Многоэтажные здания - это объектам высокого уровня ответственности. Возникновение и развитие аварийных ситуаций в таких зданиях может иметь очень тяжелые последствия материального, экономического, экологического и социального характера. Рекомендуется при проектировании принимать симметричные конструктивные схемы и добиваться равномерного распределения жесткостей конструкций и масс. Симметричная форма плана уменьшает эффекты закручивания здания и обеспечивает равномерное укорочение вертикальных конструкций от действия вертикальных нагрузок. Однако при этом современное проектирование направлено на повышение архитектурной выразительности сооружений, их взаимосвязь с ландшафтом и живой природой, внедрение уникальных объемно-планировочных решений. Все это воплощается при помощи асимметричных форм зданий. Также диктует появление зданий неправильной формы плотная городская застройка и высокая стоимость земельных участков.

Предмет исследования: сейсмостойкость металлического каркаса общественного здания несимметричного в плане.

Материалы и методы: в качестве исходногоматериала принято существующее конструтивное решение многоэтажной гостиницы с несимметричным планом, запроектитируемое для г. г. Алушта на южном берегу Крыма. Для проведения исследований применен метод конечного элемента, который реализован в ПК ЛИРА. Для проведения исследований разработаны шесть конструктивных схем здания, отличающиеся местами и формой связей, которые обеспечивают жесткость каркаса и повышают его сейсмостойкость.

Результаты: получены мозаики перемещений узлов здания при различных конбинациях и углов поворота, на основе которых построены графики дефомативности изучаемых конструктивных схем.

Выводы: наиболее эффективной, по результатам анализа, является конструктивная схема с наружным решетчатым стволом с вертикальными связями на высоту этажа. По сравнению с базовой моделью перемещения узлов снижены в среднем на 57%. Крутильные деформации снижены на 56%. Исходя из этого, можно рекомендовать использование данной схемы при строительстве многоэтажных зданий с металлическим каркасом для сейсмоопасных районов Крыма.

Ключевые слова: многоэтажные здания, металлические каркасы, компьтерные модели.

ВВЕДЕНИЕ

Многоэтажные здания относятся к объектам высокого уровня ответственности и класса надежности. Удельная стоимость их строительства значительно выше зданий малой этажности. Это обусловлено не только технологическими, конструктивными и другими факторами, но в значительной степени и мерами комплексной безопасности, принимаемыми на всех стадиях – проектирования, строительства и эксплуатации. Возникновение и развитие аварийных ситуаций в таких зданиях может иметь очень тяжелые последствия материального, экономического, экологического и социального характера.

Проектирование зданий и сооружений в сейсмически опасных районах начинается с соблюдения общеполагающих принципов сейсмостойкого строительства, в соответствии с которыми все используемые строительные материалы, конструкции и конструктивные схемы должны обеспечивать наименьшее значение сейсмических нагрузок. Рекомендуется при проектировании принимать симметричные конструктивные схемы и добиваться равномерного распределения жесткостей конструкций и масс. Симметричная форма плана уменьшает эффекты закручивания здания и обеспечивает равномерное укорочение вертикальных конструкций от действия вертикальных нагрузок.

Но современная архитектура формирует эстетическое окружение человека, выражая тем самым общественные идеи и стремления в художественных образах. Историческое течение времени и развитие общества дает понять, что однообразная городская среда порождает

ощущения дискомфорта. В строительстве появилась необходимость связывать не только технические и функциональные начала, но и эстетические. Поэтому современное проектирование направлено на повышение архитектурной выразительности сооружений, их взаимосвязь с ландшафтом и живой природой, внедрение уникальных объемно-планировочных решений. Все это воплощается при помощи асимметричных форм зданий.

Также диктует появление зданий неправильной формы плотная городская застройка и высокая стоимость земельных участков. В свое время быстрое массовое строительство жилья для населения и хаотичная незаконная застройка привели к дефициту участков правильной формы. Все что осталось сейчас для нового строительства это территории со сложным рельефом или неправильным очертанием. Очень ярко это выражено в Крыму в прибрежных городах и поселках. Найти свободный участок правильной формы и при этом достаточной площади, чтобы избежать сложностей в проектировании и не допустить строительства в стесненных условиях непростая задача. Таким образом, в Крыму на южном берегу в ближайшем будущем вопрос строительства многоэтажных зданий неправильной формы в плане встанет очень остро.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

По данным Ассоциации развития стального строительства (АРСС) в Европе и США доля стальных каркасов в общей массе многоэтажных зданиях составляет мира 50—70%, тогда как в России лишь 13%. Порядка быть 3/4 зданий со стальным каркасом — это промышленные, сельскохозяйственные и другие рамы нежилые здания негражданского назначения. В то же время в самом массовом виде — жилищном строительстве металлокаркасы занимают менее 5% [1]. Сдерживают этог вид строительства в основном отсутствие в отечественной нормативной базе ряда современных решений, недостаток практики массового проектирования гражданских объектов с применением стальных каркасов, а также скептическое отношение к ним инвесторов и потребителей.

В то же время металлокаркасы обладают рядом преимуществ: при такой же себестоимости строительства, как у традиционного монолитного здания, скорость возведения здания выше на 20—30%. Кроме этого, такое строительство выполняется фактически всесезонно, при этом обеспечивается компактность стройплощадки, разнообразие планировочных решений за счет отсутствия несущих стен. У металлокаркасов высокое качество, сами здания намного легче, следовательно, снижается нагрузка на фундамент. Для возведения таких зданий требуется меньшее количе ство рабочих на стройплощадке [2, 3].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве исходной конструктивной схемы здания принято конструктивное решение двенадцатиэтажного здания гостинцы несимметричной формы в плане с внутренним атриумом, которое расположенно в Алуште на участке ограниченном существующей застройкой, что и оказало влияние на форму здания в плане [12].

На основании конкретных исходных данных для проведения численных исследований в ПК ЛИРА разработана базовая модель каркаса, состоящего из продольных и поперечных рам. Колонны и ригеля образованы стержневыми элементами, представляющие собой прокатные двутавры. Фундаментная плита, стены цокольного этажа и перекрытие над ним образованы пластинами [4-8].

Совершенствование базовой модели осуществлось путем установки вертикальных связей между колоннами в разных секторах каркаса в плане здания. Во всех вариантах принят единый тип связей – крестовые – так как они являются наиболее распространенными и при этом придают каркасу максимальную жесткость и достаточно просты в исполнении. Связи образованы стержневыми элементами, представляющими собой круглую трубу. Связевая система отвечает принципу концентрации материала и позволяет проектировать большинство элементов каркаса и их сопряжения более легкими, простой конструктивной формы и в максимальной степени типизировать [9-11].

Для проведения исследований разработаны шесть численных моделей, каждой из которых присвоен номер для упрощения дальнейшего описания результатов анализа:

№1 – рамный каркас (базовая модель);

№2 – каркасно – коробчатое решение (связи по внешнему периметру с частотой на этаж);

№3 – каркасно – коробчатое решение (связи по внешнему периметру с частотой на 4-е этажа);

№4 – каркасно – ствольная решение (святи по периметру атриума с частотой на этаж);

№5 – каркас с решетчатыми диафрагмами жесткости по углам внешнего контура;

№ 6 – каркас с решетчатыми диафрагмами жесткости по срединным рамам.

Действующие на каркас нагрузки в каждой новой модели остаются неизменными.

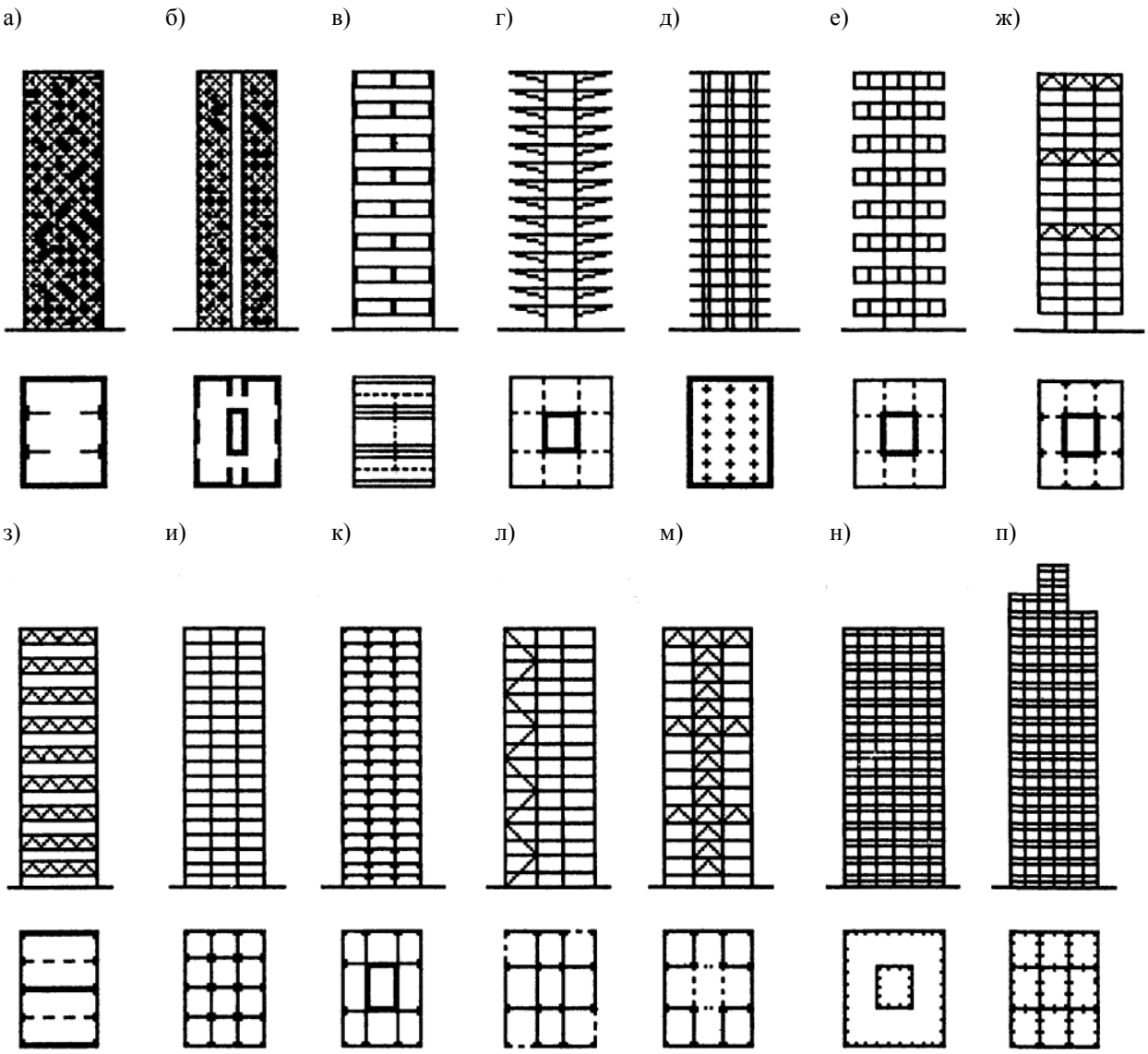


Рис. 1.Конструктивные схемы многоэтажных зданий:

Fig. 1. Constructive schemes of multi-storey buildings:

а — бескаркасная с параллельными несущими стенами; б — ствольная с несущими стенами; в — коробчатая; г — с консольными перекрытиями в уровне каждого этажа; д — каркасная с безбалочными плитами перекрытия; е — с консолями высотой на этаж в уровне каждого второго этажа; ж — с подвешенными этажами; з — с фермами высотой на этаж, расположенными в шахматном порядке; и — рамно-каркасная; к — каркасно-ствольная; л — каркасная с решетчатыми диафрагмами жесткости; м — каркасная с решетчатыми горизонтальными поясами и решетчатым стволом; н – коробчато-ствольная (труба в трубе); п — многосекционная коробчатая

Практика показала, что рамный стальной каркас проигрывает по металлоемкости связевому, поэтому в современном строительстве чаще применяются именно связевые и рамно-связевые каркасы. При различной расстановке вертикальных связей можно определить вариант, при котором не только будет достигнута большая жесткость каркаса, а также эффективность его работы будет максимальной, а перемещения узлов будут минимальны.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Для анализа выбрали максимальные перемещения узлов на верхней этаже в каждом каркасе при всех РСН по направлениям осей X и У для каждой модели было выявлено наиболее неблагоприятное сочетание

.

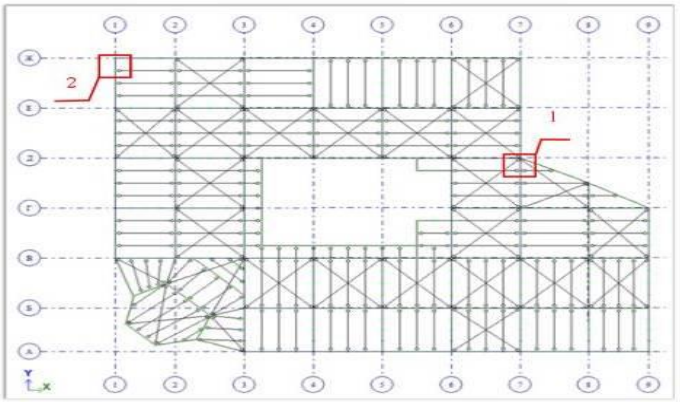


Рис. 2. Размещение характерных узлов для анализа деформирования каркаса под нагрузкой.

Fig. 2. Placement of the characteristic nodes for the analysis of the carcass deformation under load.

В каждой модели при наиболее опасных РСН (№3, №4, №5, №6) в узлах «1» и «2» были зафиксированы перемещения по направлениям осей X и У на третьем, шестом, девятом и двенадцатом этаже. И для каждого узла построен наглядный график, где отображены его перемещения при конкретном сочетании нагрузок для всех численных моделей одновременно. На графике видна интенсивность нарастания перемещений с увеличением высоты этажа и эффективность работы каждой конструктивной схемы по сравнению с другими.

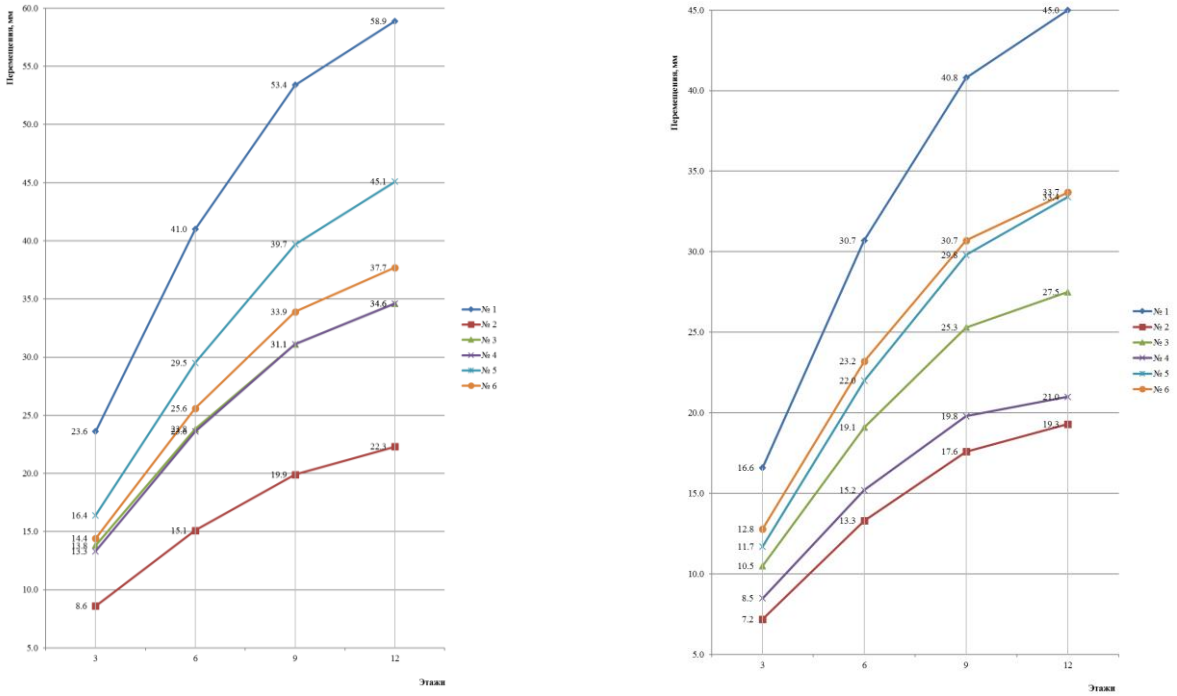


Рис. 3. Перемещения узла «1» вдоль оси X и оси У при РСН№4

Fig. 3. Movements of the node "1" along the X axis and the Y axis with DCF № 4

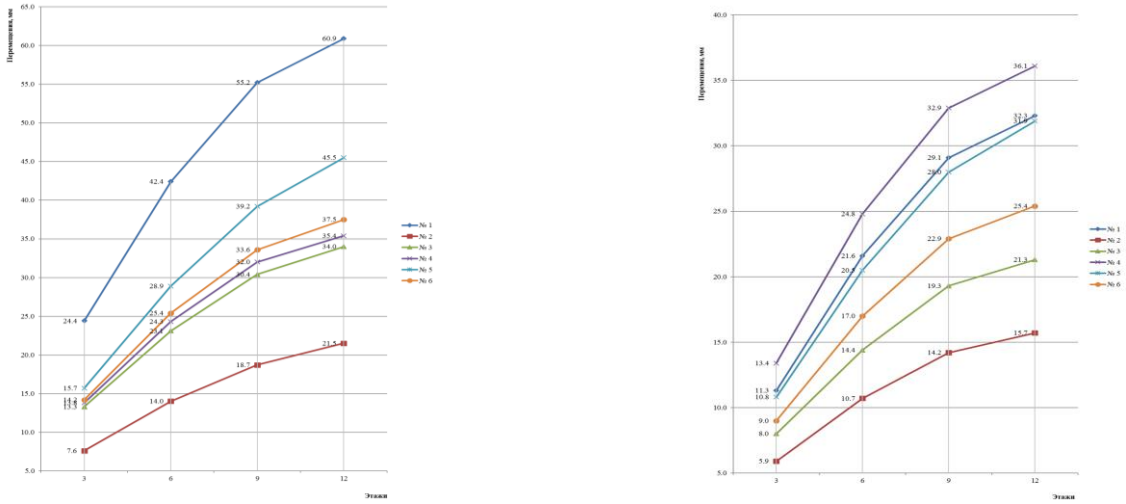


Рис. 4 Перемещения узла «2» вдоль оси X и оси У при РСН№4

Fig. 4 Movements of the node "2" along the X axis and the Y axis with DCF № 4

ВЫВОДЫ

Во всех моделях отмечено равномерное нарастание перемещений узлов при увеличении высоты этажа, что говорит о правильной работе каркаса при заданных нагрузках.

В ходе анализа выявлено, что наиболее эффективной является конструктивная схема с наружным решетчатым стволом с вертикальными связями на высоту этажа. По сравнению с базовой моделью перемещения узлов снижены в среднем на 57%. Крутильные деформации снижены до 56%. Исходя из этого, можно рекомендовать использование данной схемы при строительстве многоэтажных металлических каркасов в сейсмически опасных районах Крыма.

Казалось бы, такое решение каркаса может лишь нарушить внешний облик здания, но, если говорить о необходимости повышения сейсмостойкости конструкций изначально необычных, несимметричных в плане, то привлечение опытных и заинтересованных архитекторов может привести к появлению оригинальных зданий, обладающих целостной архитектурной формой. Форма решетчатой системы, как показывает практика зарубежных проектировщиков и строителей, может быть разнообразной: скульптурной или служить целям солнцезащиты и эстетической выразительности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лоусон М. Стальные конструкции в архитектуре / М. Лоусон, А. Билык – К.: УЦСС 2015. — 140 с.

2. Беленя Е.И. Металлические конструкции / Е. И. Беленя – М.: Книга по требованию, 2013. – 560 с. ISBN 978-5-458-36164-4

3. Металлические конструкции: учебник / А. В. Пермяков [и др.]; под ред. А. А. Нилова - К.: Сталь, 2010.- 869 с.

4. ЛИРА-САПР 2015 НИИАСС (Сертификаты соответствия РОСС RU.0001.11СП15).

5. Дворецкий А.Т. «Влияние солнечной радиации на продолжительность отопительного периода зданий в Крыму»/ Дворецкий А.Т. журнал «Биосферная совместимость: человек, регион, технологии». ЮЗГУ. № 3 (7). – Курск, 2014, стр. 74-81. ISSN: 2311-1518

6. Пакеты прикладных программ для автоматизированного проектирования конструкций 2006. / М. С. Барабаш, Ю. Д. Гераймович, А. Н. Кекух [и др.]; Под ред. Академика РААСНА. С. Городецкого. – К. : Факт.-210 с.

7. Пособие по расчету и конструированию стальных сейсмостойких каркасов многоэтажных зданий (в развитие СНиП РК 2.03-04-2001), Часть 1 ; Введ. 2003-08-01. – М.: Стандартинформ, 2003. – 52 с.

8. Сейсмостойкое строительство зданий: учеб. пособие для вузов / И. Л. Корчинский [и др.]; под ред. И.Л. Корчнского - М.: Высшая школа, 1971. - 320 с.

9. Толушов С. А. Проблемы проектирования сейсмостойких зданий / Толушов С. А., Немова Е. Ю., Загарина М. С. // Молодой ученый. — 2015. — №11. — 450 с.

10. Бержинская Л. П. Надежность региональных типов зданий при сейсмических воздействиях: На примере Прибайкалья. Диссертация ... кандидата технических наук. И., 2006.- 125 с.

11. Сахаров О. А. Обоснование уровня расчетного сейсмического воздействия при оценке сейсмостойкости зданий и сооружений,

эксплуатируемых в особых условиях. Диссертация … кандидата технических наук. СПб., 2006. - 125 с.

12. Маклакова Т. Г. Высотные здания. Градостроительные и архитектурно-конструктивные проблемы проектирования / Т. Г. Маклакова – М.: АСБ, 2008. – 160 с.

REFERENCES

1. Louson M. Stal'nyye konstruktsii v arkhitekture / M. Louson, A. Bilyk – K.: UTSSS 2015. — 140 s.

2. Belenya Ye.I. Metallicheskiye konstruktsii / Ye. I. Belenya – M.: Kniga po trebovaniyu, 2013. – 560 s. ISBN 978-5-458-36164-4

3. Metallicheskiye konstruktsii: uchebnik / A. V. Permyakov [i dr.]; pod red. A.A. Nilova-K.: Stal, 2010.- 869 s.

4. LIRA-SAPR 2015 NIIASS (Sertifikaty sootvetstviya ROSS RU.0001.11SP15).

5. Dvoretskiy A.T. «Vliyaniye solnechnoy radiatsii na prodolzhitel'nost' otopitel'nogo perioda zdaniy v Krymu»/ Dvoretskiy A.T. zhurnal «Biosfernaya sovmestimost': chelovek, region, tekhnologii». YUZGU. № 3 (7). – Kursk, 2014, str. 74-81. ISSN: 2311-1518

6. Pakety prikladnykh programm dlya avtomatizirovannogo proyektirovaniya konstruktsiy 2006. / M. S. Barabash, YU. D. Geraymovich, A. N. Kekukh [i dr.]; Pod red. Akademika RAASNA. S. Gorodetskogo. – K. : Fakt.-210 s.

7. Manual for the calculation and design of steel seismic resistant skeletons of multi-storey buildings (in the development of SNiP RK 2.03-04-2001), Part 1; Enter. 2003-08-01. - Moscow: Standardinform, 2003. - 52 p.

8. Seismic resistant building construction: Textbook. manual for universities / IL Korchinsky [and others]; Ed. I.L. Korchinskogo - M .: Higher School, 1971. - 320 p.

9. Tolushov SA Problems of designing seismic resistant buildings / Tolushov SA, Nemova E. Yu., Zagarina MS // Young Scientist. - 2015. - № 11. - 450 sec.

10. Berzhinskaya LP Reliability of regional types of buildings under seismic influences: On the example of Pribaikalye. Thesis ... Cand.Tech.Sci. I., 2006.- 125 pp.

11. Sakharov OA. Justification of the level of design seismic action in assessing seismic resistance of buildings and structures operated under special conditions. Thesis ... Cand.Tech.Sci. SPb., 2006. - 125 p.

12. Maklakova TG High-rise buildings. Urban planning and architectural and constructive design problems / TG Maklakova - M .: ASB, 2008. - 160 p.

INCREASING THE SEISMIC RESISTANCE OF THE METAL FRAMEWORK OF THE TWELVE THOAT HOTEL FOR THE SOUTHERN COAST OF CRIMEA

Sintsov V.P., Gavina A.S., Sintsov A.V.

Summary. Multi-storey buildings are objects of a high level of responsibility. The emergence and development of emergency situations in such buildings can have very serious consequences of a material, economic, ecological and social nature. It is recommended to take symmetrical structural schemes in the design and to achieve an even distribution of the rigidities of structures and masses. The symmetrical shape of the plan reduces the effects of twisting the building and ensures a uniform shortening of vertical structures from the action of vertical loads. However, modern design is aimed at increasing the architectural expressiveness of structures, their relationship with the landscape and wildlife, the introduction of unique space-planning solutions. All this is embodied with the help of asymmetric forms of buildings. Also dictates the appearance of irregularly shaped buildings dense urban development and the high cost of land.

Subject: seismic resistance of the metal frame of a public building is asymmetrical in plan.

Materials and methods: As an initial material, the existing constructive solution of a multi-storey hotel with an asymmetrical plan, designed for the city of Alushta on the southern coast of the Crimea, was adopted. To carry out the research, the finite element method, which is implemented in LIRA PC, is applied. To carry out the research, six structural schemes of the building have been developed, differing in places and form of connections, which provide rigidity of the frame and increase its seismic stability.

Results: Mosaics of the movement of the building's nodes are obtained for various concurrences and angles of rotation, on the basis of which the graphs of the deformability of the studied constructive schemes are constructed.

Conclusions: The most effective, according to the analysis results, is a constructive scheme with an external grating barrel with vertical connections to the height of the floor. Compared to the basic model, the displacement of nodes is reduced by an average of 57%. Torsional deformations were reduced by 56%. Proceeding from this, we can recommend the use of this scheme in the construction of multi-storey buildings with a metal frame for seismically dangerous areas of the Crimea.

Key words: multi-storey buildings, metal frames, computer models.

УДК 666. 9: 6911: 691.316

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЁТ ВИБРОНАГРУЖЕННОСТИ КРЕПЕЖНО-ПРИВОДНЫХ УЗЛОВ КОНСОЛЬНОЛЬНЫХ ШНЕКОВ РАЗГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО ПНЕВМООБОРУДОВАНИЯ

Морозов А.Д., Чередниченко И.А., Бородачёва Т.И., Дембовский В.И., Чередниченко В.А.

Академия Строительства и Архитектуры (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО "КФУ им. Вернадского"

Аннотация: Приводится аналитический анализ вибрационных характеристик консольных шнеков пневмотранспортных установок для транспортирования пылевидных строительных материалов.

Ключевые слова: Воздух, вектор вибрации, пневмоустановка, ресурс, шнек.

ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате конструктивной несбалансированности консольных шнеков, главным образом однозаходных, их значительной массы, недостаточного расчетного запаса жесткости, технологических неточностей изготовления деталей и узлов крепежно - приводного устройства (КПУ) шнека, а также в результате износа сопряжений, температурных деформаций и т.п., имеющих место при изготовлении и эксплуатации пневмовинтовых установок, появляется явление вибрации и задевания рабочих органов, а следовательно, интенсивного износа и снижения ресурса работы машин. Проводим оценку работоспособности и ресурса работы пневмоустановок (ПУ) на основе исследований вибрационных процессов, протекающих при их эксплуатации, а также вероятные определения области состояния вибрационного параметра, т.е. вектора вибрации (ВВ).

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для оценки вибрационного состояния ПУ введем векторную величину относительного виброперемещения вдоль узла КПУ шнека (двигатель - моторная втулка - шнек). Точка приложения ВВ (R), находящаяся в процессе работы ПУ на оси вращения шнека, может перемещаться по оси 2 (рис. 1) от одного сечения к другому. Данный вектор будем рассматривать в трёх системах координат: X_1, $У_1$, Z_1 - жестко связанный с рамой ПУ и X_2, $У_2$, Z_2 - подвижной, точка O_2 которой находится на оси шнека Разложением ВВ на составляющие, определим его проекции R_x, R_y, R_z, совпадающие с положительным направлением координатных осей ПУ. На основании известных уравнений гармонических колебаний, мгновенные значения составляющих ВВ для рассматриваемого сечения, можно представить в виде:

$$\left.\begin{aligned} R_x(t) &= R^x_{\max}\,\sin\left(w_x t+\varphi_x\right)\\ R_y(t) &= R^y_{\max}\,\sin\left(w_y t+\varphi_y\right)\\ R_z(t) &= R^z_{\max}\,\sin\, w_z t \end{aligned}\right\}, \qquad (1)$$

где: $R^x_{\max}$, $R^y_{\max}$, $R^z_{\max}$ - наибольшие (амплитудные) относительные виброперемещения по осям X, Y, Z;W_x, W_y, W_z - угловые частоты;

Y_x , Y_y - сдвиг фаз между виороперемететением по оси Z и осям X, Y.

Величина ВВ в данный момент времени определяется из выражения:

$$R(t)=\sqrt{R_x^2(t)+R_y^2(t)+R_z^2(t)}\ , \qquad (2)$$

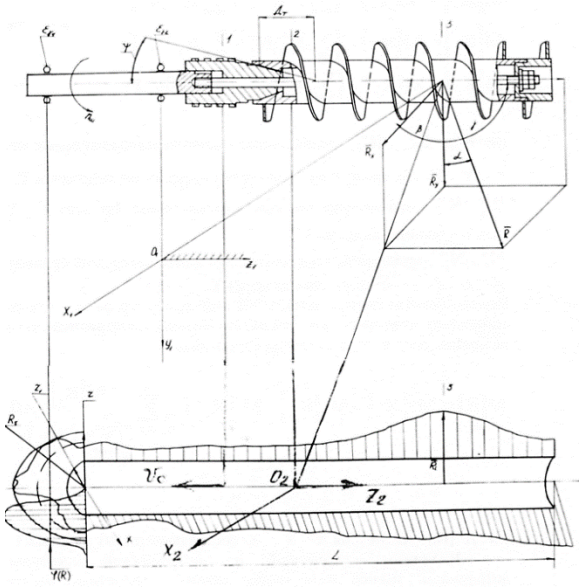


Рис. 1. Схема к расчету вибронагружснности шнека

Fig. 1. Scheme for the calculation of the screw vibroabinding

Однако, при промышленной эксплуатации ПУ, пространственная вибрация не ограничивается наличием только гармонических колебаний, а зависит от многих параметров системы, в том числе случайных. Учитывая это, введем вероятностную оценку модуля ВВ, как математическое ожидание случайного процесса. Модуль проекций ВВ соответственно, определим математическое ожидание M (R_x), M(R_v), M(R_z). Применив дискретизацию во времени пространственной вибрации, запишем значения вероятностных оценок проекций в виде:

$$\left.\begin{aligned} M[R_x] &= M(R_x) = \left(\sum |R_{ix}^a| N_x^a + \sum |R_{ix}^b| N_x^b\right) \\ M[R_y] &= M(R_y) = \left(\sum |R_{iy}^a| N_x^a + \sum |R_{iy}^b| N_y^b\right), \\ M[R_z] &= M(R_z) = \left(\sum |R_{iz}^a| N_z^a + \sum |R_{iz}^b| N_z^b\right) \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

где: $R_{ix}^a, R_{iy}^a, R_{iz}^a$ - наибольшие значения положительных ординат X , Y , Z - составляющих за интервал времени исследования T;

$R_{ix}^b, R_{iy}^b, R_{iz}^b$ - наименьшие значения отрицательных ординат X, Y, Z - составляющих за время T;

N_x^b, N_y^b, N_z^b - количество положительных и отрицательных ординат X, Y , Z - составляющих за время T.

Вероятностную оценку модуля ВВ определим «дельта - методом», с точностью до второго порядка включительно, полагая, что случайные величины составляющих некоррелированы:

$$M[R] = M^2(R_x) + M^2(R_y) + M^2(R_z) + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{3} \frac{M[R_i]}{\sqrt{\sum_{i=1}^{3} M^2[R_i]}}, \quad (4)$$

где: $M^2[R_i]$ - дисперсия X, Y, Z составляющих ВВ за время T.

Величины статической и динамической составляющих деформации изгиба вала шнека можно определить, рассмотрев дифференциальное уравнение продольных колебаний вала шнека:

$$EJ\frac{d^4y}{dz^4} = -\mu F_b \frac{d^2y}{dt^2} + S\frac{d^2y}{dz^2} - \mu F_b - cx\delta(z-a), \quad (5)$$

где : EJ - изгибная жесткость вала шнека,

a - расстояние до сечения вала от O по координате Z;

y(z,t) - прогиб вала в рассматриваемом сечении;

μ - объемная массовая жесткость;

F_b - площадь поперечного сечения вала;

S_o - осевая составляющая.

Слагаемое $cx\delta(z-a)$ представляет собой упругую реакцию «подвижной дополнительной опоры» из транспортируемого уплотненного груза в рассматриваемом сечении Z= a ; c - коэффициент приведенной жесткости; $\delta(z-a)$- функция Дирака.

Граничные условия для левого конца при Z=0, У=0, dy/dz=0, а для правого при Z = l ; y=bsinpt и d^2y/dz =T/EJ, где T - изгибающий момент в плоскости ZOY.

Кроме величин модуля ВВ необходимо знать и его вероятное направление для данного сечения в принятой системе координат. Это направление характеризуется углами α, β, χ - образованными ВВ и положительными направлениями координатных осей ПУ. Направляющие углы можно определить по формулам:

$$\left.\begin{aligned} tg\alpha &= M^2[R_x] + M^2[R_z] \Big/ M^2[R_y] \\ tg\beta &= M^2[R_y] + M^2[R_z] \Big/ M^2[R_x] \\ tg\chi &= M^2[R_z] + M^2[R_z] \Big/ M^2[R_z] \end{aligned}\right\} , \quad (6)$$

Для получения всей совокупности значений ВВ по координате Z необходимо определить его в нескольких сечениях по длине вала шнека.

При проведении экспериментальных исследований, для уменьшения влияния дисбалансов, вызываемого погрешностью установки шнека на посадочный конус моторной втулки (масса m=16- 60 кг), была проведена предварительная подгонка его по месту сопряжения. Для получения всей области числовых значений измеряемых параметров, обусловленных погрешностью КПУ шнека, измерение состояло из трех реализаций в каждом его сечении. Переустановка осуществлялась поворотом оси на 120°.

В виду большого оъема информации, обработка ее осуществлялась на ЭВМ и на входе представлялась в виде матрицы:

$$M = \begin{pmatrix} R_{11x}R_{11y}R_{11z}\dots R_{1mx}R_{1my}R_{1mz}\dots f_{11x}f_{11y}f_{11z}\dots f_{1mx}f_{1my}f_{1mz} \\ R_{21x}R_{21y}R_{21z}\dots R_{2mx}R_{2my}R_{2mz}\dots f_{21x}f_{21y}f_{21z}\dots f_{2mx}f_{2my}f_{2mz} \\ \dots. \\ \dots. \\ R_{nix}R_{niy}R_{niz}\dots R_{nmx}R_{nmy}R_{nmz}\dots f_{n1x}f_{n1y}f_{n1z}\dots f_{nmx}f_{nmy}f_{nmz} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

где: R_i - значения составляющих ВВ при различных реализациях;

f_i - частота первой (основной) гармоники колебаний;

n - сечения шнека, по которым проводились измерения.

В случае задевания шнека за внутреннюю поверхность броневых гильз или цилиндра с регулируемыми вкладышами, нормальную силу контакта в рассматриваемом сечении ШМ можно определить из следующего выражения:

$$F_n = \frac{\pi^2 EY}{4l}\overline{F_N}, \quad (8)$$

$$\overline{F_N} = \frac{\pi / 2\sqrt{\delta l / l}}{\mu + \pi / 2\sqrt{\delta l / l}}, \quad (9)$$

где: δ - нормальный прогиб;

l и EY - материально-геометрические характеристики шнека.

E_N выражается через δ не линейно.

Рассчитанное направление ВВ и относительные величины ВВ и F_n экспериментально подтверждаются после контрольного времени наработки шнеков различной заходности и геометрии, по величине кольцевого зазора износа рабочей пары ШМ в различных сечениях.

Направление ВВ при вращении шнека (без транспортируемого материала) можно с достаточной точностью определить по фотографиям, сделанным скоростной кинокамерой через смотровой лючок в смесительной камере, при клапане поднятом в крайнее верхнее положение.

ВЫВОДЫ

Основываясь, на полученных результатах исследований, можно констатировать, что разработки имеют практическую направленность на повышение эффективности работы пневмовинтового оборудования за счет снижения вибрационного возбуждения, путем подбора более рациональной научно-обоснованной геометрии шнека, применения конструктивно более сбалансированных двухзаходных шнеков, увеличения жесткости узлов системы крепежно-приводного устройства шнека и изменения их конструкции, способствующим меньшему влиянию внешнего периодического воздействия, в частности смещением основных собственных частот машины, при которых возможно возникновение резонанса из-за совпадений с частотой вынуждающей силы или из-за близости к ней, установки приводных двигателей на виброизоляторах и повышения инерционно- жесткостных характеристик рамы и фундамента, а также установкой второй опоры шнека для ПВУ большой производительности. Конструкции ПВУ производительностью более 100 т/ч с двухопорными шнеками были нами разработаны, прошли успешные производственные испытания и защищены патентами РФ №164313, №173758 и №179445.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов А.Д., Рутенко В.С., Чередниченко И.А. Учебное пособие «Строительная техника с примерами и задачами» по дисциплине «Строительная техника», Симферополь, НАПКС, 2013г. – 290с.

2. Баладинский В.Л., Морозов А.Д., Чередниченко И.А. Учебное пособие «Транспорт и пути сообщения» издание 2-е дополненное с грифом МОН по дисциплине «Строительная техника», Симферополь, издательство РИО НАПКС, 2005г. – 318с.

3. Морозов А.Д., Чередниченко И.А. Научное издание «Повышение эффективности и

экологической безопасности разгрузочно-транспортного пневмооборудования для строительной индустрии», Симферополь, НАПКС, 2012г. – 287с.

REFERENCES

1. Morozov A.D., Rutenko V.S., Cherednichenko I.A. The manual "Construction equipment with examples and tasks" on the discipline "Construction equipment", Simferopol, NAPKS, 2013. - 290s.

2. Baladinsky V.L., Morozov A.D., Cherednichenko I.A. The textbook "Transport and communication" 2nd edition supplemented with the signature stamp of the Ministry of Education and Science on the subject "Construction equipment", Simferopol, RIO NAPKS publishing house, 2005. - 318c.

3. Morozov A.D., Cherednichenko I.A. Scientific publication "Improving the efficiency and environmental safety of unloading and transport pneumatic equipment for the construction industry", Simferopol, NAPCS, 2012. - 287c.

RESEARCH AND CALCULATION OF VIBRONIC LOADS FOR FASTENING AND DRIVE KNOTS OF CONSOLE AIRS UNLOADING AND TRANSPORTING PNEUME EQUIPMENT

Morozov A.D., Cherednichenko I.A., Borodacheva T.I., Dembovsky V.I., Cherednichenko V.A.

Summary: An analytical analysis of the vibration characteristics of cantilever screws of pneumatic conveying installations for the transportation of dusty building materials is given.

Key words: Air, vibration vector, pneumatic installation, resource, auger.

УДК 624.04

РАСЧЕТ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ГОФРИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПОМОЩИ ПОЛУАНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Чепурненко А.С., Язьев Б.М, Турко М.С.

[1]Донской государственный технический университет, 344022, Ростов-на-Дону, Социалистическая, 162, anton_chepurnenk@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы конечно-элементного анализа конструкций из гофрированных листов. При решении данной задачи в пространственной постановке для получения корректных результатов требуется разбиение конструкции на десятки и сотни тысяч конечных элементов. Для осесимметричных конструкций, даже при несимметричной нагрузке имеется возможность понизить размерность задачи путем разложения искомых перемещений и составляющих нагрузки в тригонометрические ряды.

Предмет исследования: теория и методы расчета металлических гофрированных конструкций. Исследование направлено на разработку методики определения напряженно-деформированного состояния гофрированных цилиндрических оболочек при несимметричной нагрузке.

Материалы и методы: для расчетов используется полуаналитический метод конечных элементов. Применяются конечные элементы в виде усеченных конусов. Поверхностная нагрузка раскладывается в ряды Фурье.

Результаты: при помощи разработанной методики, реализованной в среде Matlab, выполнен расчет цилиндрической гофрированной оболочки, шарнирно опертой в основании на действие ветрового давления. Представлены графики изменения по высоте оболочки меридиональных и кольцевых усилий. Для сравнения приведены результаты для гладкой оболочки.

Выводы: Установлено, что в гофрированной оболочке, по сравнению с гладкой, кольцевые усилия по длине имеют колебания с большой амплитудой. В то же время меридиональные усилия для гофрированной конструкции немного ниже, чем для гладкой. Таким образом, расчет с использованием упрощенных подходов (безмоментной теории или теории ортотропных оболочек), приводит к заниженным значениям кольцевых напряжений. Разработанная авторами методика и пакет прикладных программ позволяют также рассчитывать водопропускные трубы под насыпями автомобильных дорог.

Ключевые слова: гофрированная оболочка, несимметричная нагрузка, ряды Фурье, полуаналитический метод конечных элементов.

ВВЕДЕНИЕ

Металлические гофрированные конструкции (МГК) в настоящее время находят широкое применение при устройстве водопропускных труб, подпорных стен, резервуаров и т.д. К достоинствам МГК относится их небольшой вес, экономическая эффективность, невысокие трудозатраты, высокая заводская готовность и как следствие малые сроки возведения, транспортабельность и технологичность. Расширение области применения металлических конструкций из гофрированных листов сдерживается в связи с отсутствием достаточно надежных и в то же время эффективных методов расчета. Существующие нормативные документы по проектированию указанных констукций: ВСН 176-78 «Инструкция по проектированию и постройке металлических гофрированных водопропускных труб» и ОДМ 218.2.001-2009 «Рекомендации по проектированию и строительству водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур на автомобильных дорогах общего пользования с учетом региональных условий (дорожно-климатических зон)» имеют область применения, ограниченную сооружениями на автомобильных и железных дорогах.

В настоящее время в большинстве случаев для расчета МГК используется метод конечных элементов (МКЭ). Современные программные комплексы, реализующие МКЭ, позволяют моделировать гофрированную конструкцию с учетом всех особенностей ее геометрии путем разбиения каждой волны на оболочечные или объемные элементы, однако такой подход требует существенных затрат машинного времени.

Поэтому, как правило, гофрированная конструкция заменяется ортотропной эквивалентной жесткости. В настоящей статье предлагается иной путь снижения трудоемкости вычислений засчет использования симметрии конструкции. Целью данной работы является разработка методики расчета осесимметричных гофрированных конструкций на несимметричную нагрузку при помощи полуаналитического метода конечных элементов, а также исследование напряженно-деформированного состояния МГК на примере цилиндрического гофрированного резервуара под действием ветровой нагрузки.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Конечно-элементному моделированию гофрированных конструкций посвящено очень большое количество работ, включая [1-9]. В указанных публикациях объектом исследования выступают гофрированные трубы под насыпями автодорог. Используется, как правило, двумерная постановка задачи, т.е. пространственный эффект работы конструкции не учитывается, расчет выполняется в готовых прогаммных продуктах. В статье [10] рассматривается расчет оболочек с использованием трехмерных конечных элементов. Имеется ряд публикаций по расчету гофрированных пластин как конструктивно ортотропных [11-13].

В работе [13] выполняется сравнение результатов расчета гофрированной пластины как гладкой с эквивалентной жесткостью, а также с учетом реальной геометрии в программном комплексе ANSYS. Для перехода от гофрированной конструкции к ортотропной используются формулы, приведенные в [14]. Наблюдается не только количественное, но и качественное различие в результатах. В статьях [15,16] выполняется адаптация полубезмоментной теории Власова к расчету гофрированных конструкций. Переход к гофрированным конструкциям выполняется путем введения приведенной толщины, однако вопрос корректности такого перехода остается открытым.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сущность полуаналитического метод состоит в том, что трехмерная задача может быть сведена к двумерной путем разложения компонентов поверхностной нагрузки в ряды Фурье. Если составляющие нагузки U, V, W, параллельные перемещениям u, v, w изменяются как:

$$U = U^n(s)\cos n\theta,\ W = W^n(s)\cos n\theta,\quad V = V^n(s)\sin n\theta, \tag{1}$$

то и перемещения также будут периодическими функциями [17]:

$$u = u^n(s)\cos n\theta,\ w = w^n(s)\cos n\theta,\quad v = v^n(s)\sin n\theta. \tag{2}$$

Для расчета мы будем использовать осесимметричный конечный элемент в форме усеченного конуса. Направления перемещений и результирующих внутренних усилий приведены на рис. 1.

Для функций $u^n(s)$, $w^n(s)$, $v^n(s)$ примем следующую аппроксимацию:

$$u^n(s) = \alpha_0 + \alpha_1 s;\quad w^n(s) = \alpha_2 + \alpha_3 s + \alpha_4 s^2 + \alpha_5 s^3;\quad v^n(s) = \alpha_6 + \alpha_7 s, \tag{3}$$

где α_i – коэффициенты, определяемые из граничных условий в узловых точках конечного элемента.

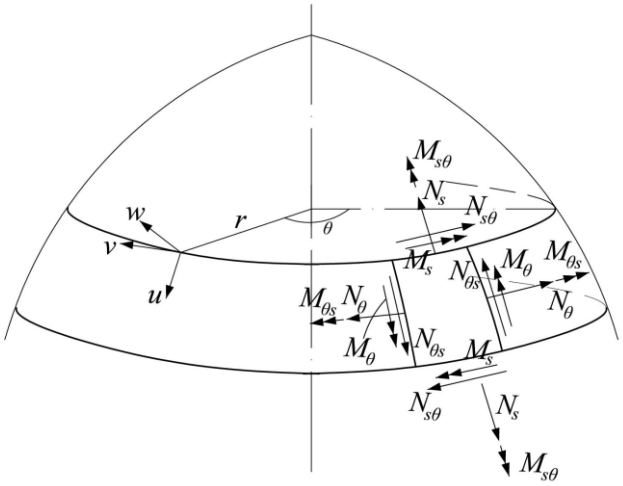


Рис. 1. Перемещения и результирующие усилия в осесимметричной оболочке при несимметричной нагрузке

Fig. 1. Displacements and resultant forces in an axisymmetric shell under an asymmetric load

Вектор узловых перемещений, соответствующих *n*-ной гармонике записывается в виде:

$$\left\{\delta^n\right\} = \left\{u_1^n \quad w_1^n \quad \varphi_1^n \quad v_1^n \quad u_2^n \quad w_2^n \quad \varphi_2^n \quad v_2^n\right\}^T. \tag{4}$$

Подставляя в (3) координаты узлов, получим:

$$\left\{\alpha_0 \quad \alpha_2 \quad \alpha_3 \quad \alpha_6 \quad \alpha_0+\alpha_1 l \quad \alpha_2+\alpha_3 l+\alpha_4 l^2+\alpha_5 l^3 \quad \alpha_3+2\alpha_4 l+3\alpha_5 l^2 \quad \alpha_6+\alpha_7 l\right\}^T = \left\{\delta^n\right\}. \tag{5}$$

Запишем равенство (5) в следующем виде:

$$[C]\{\alpha\} = \left\{\delta^n\right\}, \{\alpha\} = \{\alpha_0 \quad \alpha_1 \quad \alpha_2 \quad \alpha_3 \quad \alpha_4 \quad \alpha_5 \quad \alpha_6 \quad \alpha_7\}^T. \tag{6}$$

В качестве соотношений, устанавливающих связь между перемещениями и обобщенными деформациями, мы будем использовать уравнения, представленные в работе В.В. Новожилова [18]:

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_s \\ \varepsilon_\theta \\ \gamma_{s\theta} \\ \chi_s \\ \chi_\theta \\ \chi_{s\theta} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \dfrac{\partial u}{\partial s} \\ \dfrac{1}{r}\left(\dfrac{\partial v}{\partial \theta}+w\cos\varphi+u\sin\varphi\right) \\ \dfrac{1}{r}\dfrac{\partial u}{\partial \theta}+\dfrac{\partial v}{\partial s}-\dfrac{1}{r}v\sin\varphi \\ -\dfrac{\partial^2 w}{\partial s^2} \\ -\dfrac{1}{r^2}\dfrac{\partial^2 w}{\partial \theta^2}+\dfrac{\partial v}{\partial \theta}\dfrac{\cos\varphi}{r^2}-\dfrac{\sin\varphi}{r}\dfrac{\partial w}{\partial s} \\ 2\left(-\dfrac{1}{r}\dfrac{\partial^2 w}{\partial s\partial \theta}+\dfrac{\sin\varphi}{r^2}\dfrac{\partial w}{\partial \theta}+\dfrac{\cos\varphi}{r}\dfrac{\partial v}{\partial s}-\dfrac{\sin\varphi\cos\varphi}{r^2}v\right) \end{Bmatrix}, \tag{7}$$

где $\varepsilon_s, \varepsilon_\theta, \gamma_{s\theta}$ – деформации срединной поверхности; $\chi_s, \chi_\theta, \chi_{s\theta}$ – изменения кривизн.

Подставляя (3) в (7), мы получим:

$$\{\varepsilon\} = [T][\Phi]\{\alpha\} = [T][\Phi][C]^{-1}\left\{\delta^n\right\} = \left[B^n\right]\left\{\delta^n\right\}, \tag{8}$$

где $[T] = \begin{bmatrix} [\lambda] & \\ & [\lambda] \end{bmatrix}, [\lambda] = \begin{bmatrix} \cos n\theta & & \\ & \cos n\theta & \\ & & \sin n\theta \end{bmatrix}$.

Матрица $[\Phi]$ имеет размерность 6x8. Ее ненулевые элементы вычисляются следующим образом:

$$\Phi_{1,2}=1; \Phi_{2,1}=\frac{\sin\varphi}{r}; \Phi_{2,2}=\frac{s\sin\varphi}{r}; \Phi_{2,3}=\frac{\cos\varphi}{r}; \Phi_{2,4}=\frac{s\cos\varphi}{r}; \Phi_{2,5}=\frac{s^2\cos\varphi}{r}; \Phi_{2,6}=\frac{s^3\cos\varphi}{r}; \Phi_{2,7}=\frac{n}{r}; \Phi_{2,8}=\frac{ns}{r};$$

$$\Phi_{3,1}=-\frac{n}{r}; \Phi_{3,2}=-\frac{ns}{r}; \Phi_{3,7}=-\frac{\sin\varphi}{r}, \Phi_{3,8}=\frac{r-s\sin\varphi}{r}; \Phi_{4,5}=-2; \Phi_{4,6}=-6s; \Phi_{5,3}=\frac{n^2}{r^2}; \Phi_{5,4}=\frac{sn^2-r\sin\varphi}{r^2};$$

$$\Phi_{5,5}=\frac{s(sn^2-2r\sin\varphi)}{r^2}; \Phi_{5,6}=\frac{s^2(sn^2-3r\sin\varphi)}{r^2}; \Phi_{5,7}=\frac{n\cos\varphi}{r^2}; \Phi_{5,8}=\frac{ns\cos\varphi}{r^2}; \Phi_{6,3}=-\frac{2n\sin\varphi}{r^2};$$

$$\Phi_{6,4}=\frac{2n(r-s\sin\varphi)}{r^2}; \Phi_{6,5}=\frac{2ns(2r-s\sin\varphi)}{r^2}; \Phi_{6,6}=\frac{2ns^2(3r-s\sin\varphi)}{r^2}; \Phi_{6,7}=-\frac{\sin 2\varphi}{r^2}; \Phi_{6,8}=-\frac{s\sin 2\varphi-2r\cos\varphi}{r^2}.$$

Связь между обобщенными деформациями и внутренними усилиями в упругой оболочке может быть записана в виде:

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\}, \tag{9}$$

где $\{\sigma\} = \{N_s \quad N_\theta \quad N_{s\theta} \quad M_s \quad M_\theta \quad M_{s\theta}\}^T$,

$$[D]=\frac{Eh}{1-\nu^2}\begin{bmatrix}1 & \nu & 0 & 0 & 0 & 0\\ \nu & 1 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & (1-\nu)/2 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & h^2/12 & \nu h^2/12 & 0\\ 0 & 0 & 0 & \nu h^2/12 & h^2/12 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (1-\nu)h^2/24\end{bmatrix}.$$

Матрица жесткости для n-ной гармоники запишется в виде:

$$\left[K^n\right]=\int_V\left[B^n\right]^T[D]\left[B^n\right]dV=[C]^{-1T}\int_0^l[\Phi]^T\int_0^{2\pi}[T]^T[D][T]d\theta[\Phi]rds[C]^{-1}. \quad (10)$$

Можно показать, что при n = 1,2,3, ...

$$\int_0^{2\pi}[T]^T[D][T]d\theta=\pi[D]. \quad (11)$$

Тогда при $n \neq 0$ матрица жесткости принимает вид:

$$\left[K^n\right]=\pi[C]^{-1T}\int_0^l[\Phi]^T[D][\Phi]rds[C]^{-1}. \quad (12)$$

Случай n = 0 в формуле (1) соответствует осесимметрчной нагрузке. Элементы матрицы [Φ] являются функциями координаты s. Получение выражений для элементов матрицы [K^n] возможно в явном виде, но более удобно использовать чсленное интегрирование [19-21]. Для каждого n выполняется решение системы линейных алгебраических уравнений, имеющих вид:

$$\left[K^n\right]\left\{\delta^n\right\}=\left\{F^n\right\}. \quad (13)$$

Далее перемещения и внутренние усилия суммируются по каждой гармонике.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Приведем пример расчета цилиндрической оболочки, испытывающей действие ветрового давления (рис. 2). Экспериментальные исследования (обдувка цилиндров) показали, что для гладких цилиндрических оболочек ветровая нагрузка действует перпендикулярно поверхности цилиндра и меняется в кольцевом направлении согласно закону, показанному на рис. 3а. [22].

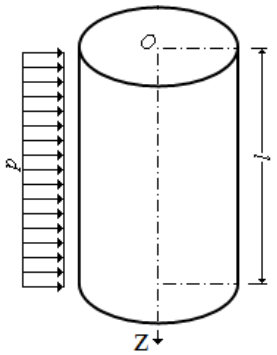


Рис. 2. Цилиндрическая оболочка под действием ветрового давления
Fig. 2. Cylindrical shell under the influence of wind pressure

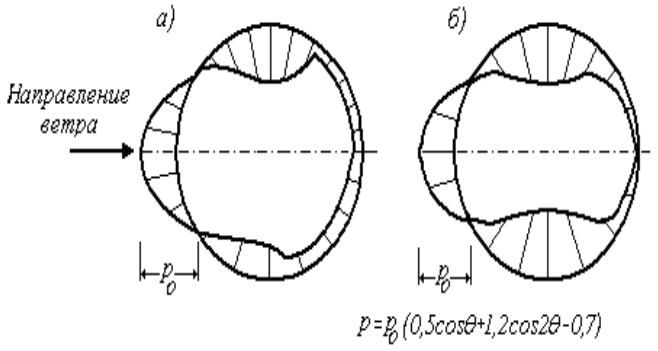


Рис. 3. Эпюра ветрового давления и ее аппрокисмация при помощи рядов Фурье
Fig. 3. The diagram of wind pressure and its approximation with the help of Fourier series

В зависимости от степени шероховатости поверхности обдуваемого цилиндра, характер распределения ветрового давления несколько меняется. Для более шероховатой поверхности точка перехода от давления к отсосу немного смещается навстречу ветру. Компоненты ветровой нагрузки в меридиональном и окружном направлении принимаются равными нулю, а нормальная составляющая ветрового давления может быть представлена рядом Фурье [22]:

$$W=\sum_{n=0}^{k}W^n\cos n\theta. \quad (14)$$

Как показали эксперименты, при аппроксимации функции давления ветра на цилиндрическую поверхность можно ограничиться рядом из трех членов (рис. 3, б), т. е. задать функцию $W(\theta)$ в виде:

$$W(\theta)=\sum_{n=0}^{2}W^{n}\cos n\theta = p_0\left(-0.7+0.5\cos\theta+1.2\cos 2\theta\right), \quad (15)$$

где p_0 – максимальная величина ветрового давления.

При расчете гофрированной оболочки будем считать, что распределение ветрового давление для нее такое же, как и для гладкой. Вычисления выполнялись для шарнирно опертой в основании оболочки, радиус которой изменялся по синусоидальному закону:

$$r = R_0 + A\sin\frac{2\pi z}{\lambda}, \quad (16)$$

где R_0 – средний радиус оболочки, λ – длина волны синусоиды, A – амплитуда волны.

Расчет производился при $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, ν = 0.3, R_0 = 3 м, λ = 0.2 м, A = 0.0275 м, p_0 = 0.5 кПа, l = 4 м, h = 5 см. Для сравнения определялись внутренние усилия в гладкой оболочке того же радиуса, толщины и высоты.

Полученные в результате графики изменения по высоте оболочки меридиональных и кольцевых усилий показаны соответственно на рисунках 4 и 5. Штриховые линии соответствуют гладкой оболочке, а сплошные гофрированной.

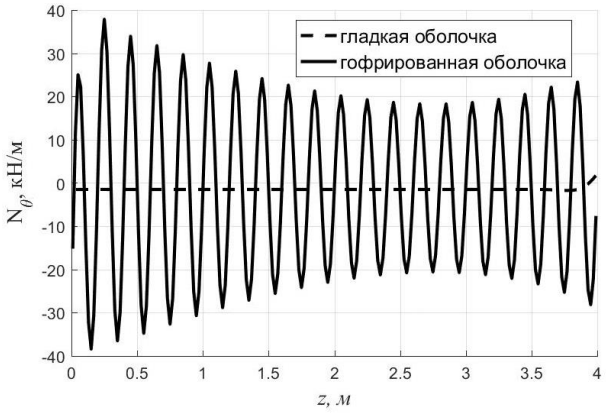


Рис. 4. Распределение кольцевой силы по высоте оболочки при θ = 0

Fig. 4. The distribution of the ring force over the shell height at θ = 0

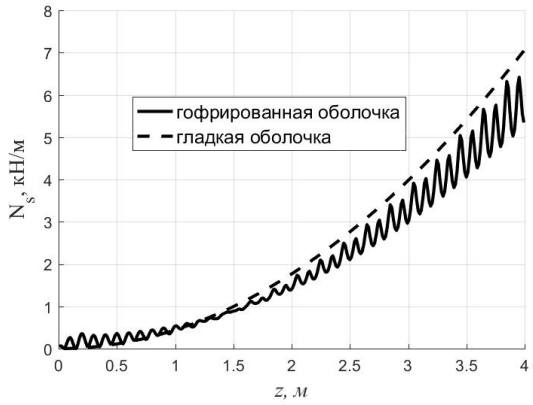


Рис. 5. Распределение меридиональной силы по высоте оболочки при θ = 0

Fig. 5. The distribution of the meridional force over the shell height at θ = 0

Из представленных графиков видно, что для гофрированной оболочки по сравнению с гладкой существенно выше максимальная величина кольцевого усилия N_θ. В то же время меридиональные силы N_s в гофрированной оболочке немного ниже, чем в гладкой.

ВЫВОДЫ

Из полученных результатов следует, что использование упрощенных подходов (безмоментная теория, замена гофрированной конструкции ортотропной) приводит к переоценке несущей способности металлических гофрированных конструкций. Предложенная методика может применяться для расчета не только гофрированных резервуаров, но и водопропускных труб круглого очертания под насыпями автомобильных и железных дорог.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шапиро Д.М., Тютин А.П. Численный упругопластический расчёт дорожных водопропускных труб // Строительная механика и конструкции. 2015. Т. 2. №. 11. С. 66-71.

2. Новодзинский А.Л., Клевеко В.И. Учет влияния толщины гофрированного элемента на прочность и устойчивость металлической водопропускной трубы // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2012. №1. С.81-94.

3. Моисеева О.В. Расчет конструкции пешеходного перехода из металлических гофрированных конструкций методом конечных элементов // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2016. Т. 2. С. 138-146.

4. Петрова Е.Н. Основные параметры системы «обделка из гофрированных элементов-грунтовый массив // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2011. №. 3. С. 99а-103.

5. Свечников Е.А. Комплексная оценка эффективности технических решений по повышению несущей способности сооружений из металлических гофрированных конструкций // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2015. №. 1 (3). URL: https://www.adi-madi.ru/madi/article/view/127/pdf_73

6. Петрова Е.Н. Исследования сооружений из металлических гофрированных элементов // Наука и техника в дорожной отрасли. 2012. №. 1. С. 26-28.

7. Зиннуров Т.А., Пискунов А.А., Петропавловских О.К., Ананьев А.А., Шаймарданов И.А. Возможность использования гофрированных полипропиленовых труб в насыпи автомобильной дороги // Интернет-журнал Науковедение. 2017. №4 (41). URL: http://naukovedenie.ru/PDF/27TVN417.pdf.

8. Каюмов Р.А., Шакирзянов Р.А., Шакирзянов Ф.Р. Расчет совместного деформирования и потери несущей способности грунта и гофрированной полиэтиленовой трубы // Ученые записки Казанского университета. 2015. Т. 157. №. 1. С. 107-113.

9. Beben D. Numerical analisis of a soil-steel bridge structure // The Baltic journal of road and bridge engeineering. 2009. № 4 (1). pp. 13-21.

10. Якупов Н.М. Ахмадиев Ф.Г., Киямов Х.Г. Расчет тонкостенных сферических оболочек с углублениями на базе трехмерных конечных элементов // Строительство и техногенная безопасность. 2014. № 50. С. 185-190.

11. Кадомцева Е.Э., Сикачева Н.В., Кирсанов Ю.А. Расчёт на прочность гофрированной тонкой пластины на упругом основании обратным методом // Инженерный вестник Дона. 2017. №2. URL:http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4251

12. Кадомцева Е.Э., Бескопыльный А.Н., Бескопыльная Н.И., Бердник Я.А. Расчёт на жёсткость гофрированной пластины на упругом основании методом Бубнова-Галёркина // Научное обозрение. Технические науки. 2016. №6. URL: http://science-engineering.ru/pdf/2016/6/1124.pdf

13. Атрошенко А.А. Исследование напряженно-деформированного состояния гофрированных и сплошных панелей с учетом геометрической анизотропии и ортотропных свойств материала // Вісник НТУ «ХПІ». 2015. № 43. С. 8-11.

14. Биргер И.А., Пановко Я.Г. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в трёх томах. Т.2. М.: Машиностроение, 1988. 832 с.

15. Осокин И.А. Применение теории оболочек вращения к расчету гофрированных водопропускных труб // Интернет-журнал «Науковедение». 2013. №2(15) . URL: http://naukovedenie.ru/PDF/40tvn213.pdf.

16. Овчинников И.Г., Осокин И.А. О возможности применения теории полубезмоментных оболочек В. З. Власова к расчету металлических гофрированных конструкций // Интернет-журнал «Науковедение». 2014. №4. URL:https://naukovedenie.ru/PDF/35TVN414.pdf.

17. Zienkiewicz O.C, Taylor R.L. The finite element method for solid and structural mechanics. Elsevier, 2005. 631 p.

18. Новожилов В.В. Теория тонких оболочек. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2010. 380 с.

19. Litvinov S.V., Klimenko E.S., Kulinich I.I., Yazyeva S.B., Longitudinal bending of polymer rods with account taken of creep strains and initial imperfections // International Polymer Science and Technology. 2015. Vol.42. pp. 23-25.

20. Литвинов С.В., Труш Л.И., Дудник А.Е. Моделирование термоползучести неоднородного толстостенного цилиндра в осесимметричной постановке // Инженерный вестник Дона. 2016. №2. URL: http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3560

21. Litvinov S.V., Trush L.I., Yazyev S.B. Flat axisymmetrical problem of thermal creepage for thick-walled cylinder made of recyclable PVC // Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. pp. 1686-1693.

22. Демченко Б.М., Маяцкая И.А. Теория упругости с основами пластичности и ползучести. Часть 3. Балки, пластины, оболочки. Ростов-на-Дону: Рост. гос. строит. ун-т., 2015. 169 с.

REFERENCES

1. Shapiro D.M., Tyutin A.P. Numerical elastoplastic calculation of road culverts // Stroitel'naya mekhanika i konstruktsii. 2015. Vol. 2. N. 11. pp. 66-71. (In Russian)

2. Novozinsky A.L., Kleveko V.I. Accounting for the influence of the thickness of the corrugated element on the strength and stability of the metal culvert] // Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura. 2012. N 1. pp.81-94. (In Russian)

3. Moiseeva O.V. Calculation of the construction of the pedestrian crossing from metal corrugated

structures by the finite element method // Sovremennyye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika. 2016. Vol. 2. pp. 138-146. (In Russian)

4. Petrova E.N. The main parameters of the system "lining of corrugated elements-soil mass" // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). 2011. N 3.pp. 99a-103. (In Russian)

5. Svechnikov E.A. Complex estimation of the effectiveness of technical solutions for increasing the bearing capacity of structures made of metal corrugated structures // Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura. 2015. N 13. URL: https://www.adi-madi.ru/madi/article/view/127/pdf_73. (In Russian)

6. Petrova E.N. Studies of structures from metal corrugated elements // Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli. 2012. N 1. pp. 26-28. (In Russian)

7. Zinurov T.A., Piskunov A.A., Petropavlovskikh O.K., Ananiev A.A., Shaymardanov I.A. The possibility of using corrugated polypropylene pipes in the embankment of the highway // Internet-journal "Naukovedenie". 2017. № 4 (41). URL: http://naukovedenie.ru/PDF/27TVN417.pdf. (In Russian)

8. Kayumov R.A., Shakirzyanov R.A., Shakirzyanov F.R. Calculation of joint deformation and loss of bearing capacity of soil and corrugated polyethylene pipe // Uchenye zapiski Kazanskogo Universiteta. 2015. Vol. 157. N 1. pp. 107-113. (In Russian)

9. Beben D. Numerical analisis of a soil-steel bridge structure // The Baltic journal of road and bridge engeineering. 2009. N 4 (1). pp. 13-21.

10. Yakupov N.M., Ahmadiev F.G., Kiyamov Kh.G. Calculation of thin-walled spherical shells with depressions based on three-dimensional finite elements // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. 2014. N 50. pp. 185-190. (In Russian)

11. Kadomtseva E.E., Sikacheva N.V., Kirsanov Yu.A. Calculation of the strength of a corrugated thin plate on an elastic base by the inverse method // Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2017. N 2. URL: http: //ivdon.ru/en/magazine/archive/N2y2017/4251. (In Russian)

12. Kadomtseva E.E., Beskopylny A.N., Beskopylnaya N.I., Berdnik Ya.A. Calculation of the stiffness of a corrugated plate on an elastic base using the Bubnov-Galerkin method // Nauchnoye obozreniye. Tekhnicheskiye nauki. 2016. N 6. URL: http://science-engineering.ru/pdf/2016/6/1124.pdf. (In Russian)

13. Atroshenko A.A. Investigation of the stress-strain state of corrugated and continuous panels with allowance for geometric anisotropy and orthotropic properties of the material // Vestnik NTU "KhPI". 2015. N 43. pp. 8-11. (In Russian)

14. Birger I.A., Panovko Ya.G. Strength, stability, vibrations. Reference book in three volumes. T.2. M.: Mashinostroyeniye, 1988. 832 p. (In Russian)

15. Osokin I.A. Application of the theory of shells of revolution to the calculation of corrugated culverts // Internet-journal "Naukovedenie". 2013. N 2 (15). URL: http://naukovedenie.ru/PDF/40tvn213.pdf. (In Russian)

16. Ovchinnikov I.G., Osokin I.A. On the possibility of applying V.Z. Vlasov's theory of semimuscular shells to the calculation of metal corrugated structures // Internet journal "Naukovedenie". 2014. N 4. URL: https: //naukovedenie.ru/PDF/35TVN414.pdf. (In Russian)

17. Zienkiewicz O.C, Taylor R.L. The finite element method for solid and structural mechanics. Elsevier, 2005. 631 p.

18. Novozhilov V.V. The theory of thin shells. SPb.: Izd-vo S.-Peterb. un-ta, 2010. 380 p. (In Russian)

19. Litvinov S.V., Klimenko E.S., Kulinich I.I., Yazyeva S.B., Longitudinal bending of polymer rods with account taken of creep strains and initial imperfections // International Polymer Science and Technology. 2015. Vol.42. pp. 23-25.

20. Litvinov S.V., Trush L.I., Dudnik A.E. Simulation of thermal creep of an inhomogeneous thick-walled cylinder in an axisymmetric setting // Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2016. №2. URL: http://ivdon.ru/en/magazine/archive/n2y2016/3560. (In Russian)

21. Litvinov S.V., Trush L.I., Yazyev S.B. Flat axisymmetrical problem of thermal creepage for thick-walled cylinder made of recyclable PVC // Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. pp. 1686-1693.

22. Demchenko B.M., Mayatskaya I.A. Theory of elasticity with the basics of plasticity and creep. Part 3. Beams, plates, shells. Rostov-on-Don: Rostov State University of Civil Engineering, 2015. 169 p. (In Russian)

ANALYSIS OF CYLINDRICAL CORRUGATED STRUCTURES USING SEMI-ANALYTICAL FINITE ELEMENT METHOD

Chepurnenko A.S., Yazyev B.M., Turko M.S.

Summary The article deals with the finite element analysis of corrugated sheet constructions. In solving this problem in a three-dimensional setting, in order to obtain correct results, the construction must be divided into tens and hundreds of thousands of finite elements. For axisymmetric constructions, even with an asymmetric load, it is possible to reduce the dimensionality of the problem by decomposing the desired displacements and load components into trigonometric series.

Key words: corrugated shell, asymmetrical loading, Fourier series, semi-analytic finite element method.

УДК 624.1

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНОГО МНОГОЭТАЖНОГО КАРКАСНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ПО МЕТОДУ «СВЕРХУ-ВНИЗ» СО СТАЛЕБЕТОННЫМИ СВАЯМИ-КОЛОННАМИ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ

Шаленный В.Т.

Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского, Академия строительства и архитектуры
295943 г. Симферополь, ул. Киевская, 181, e-mail: v_shalennyj@mail.ru

Аннотация. Представлена усовершенствованная технология устройства сборно-монолитных буро инъекционных свай, состоящих из опорной сталежелезобетонной и фундаментной железобетонной частей. Сваи-колонны проектируются под большие нагрузки от многоэтажного подземного каркаса, возводимого по методу «сверху – вниз». Для облегчения очистки поверхности опорной части от затвердевшего тощего бетона предложено покрывать ее материалом, обладающего минимальным сцеплением, например, винипластом. Показаны преимущества, области рационального применения и пути дальнейшего развития инноваций.
Ключевые слова: свая-колонна, метод «сверху-вниз», многоэтажный каркас подземной части.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях плотной городской застройки с дефицитом свободных площадок, особенно в центральной части крупных городов, и прежде всего, парковочных мест для автотранспорта, максимально возможное и эффективное освоение подземного пространства приобретает особую актуальность. Однако часто геологические и гидрогеологические условия делают задачу возведения для этих целей многоэтажных подземных каркасных железобетонных объектов довольно сложной. Это дает очевидный толчок для использования инновационных технологий, которые могут обеспечить безопасность при строительстве, безопасную эксплуатацию окружающих зданий и сооружений, а также дает возможность вести подземные работы практически в любых условиях и на любой глубине. При этом важной проблемой возведения нулевых циклов в условиях городской застройки является объяснимое желание заказчика использовать всю отведенную территорию под строительство для размещения подземной части здания, и, как следствие, отсутствие территории строительной площадки в традиционном представлении (с дорогами, площадками складирования, бытовым городком и т.п.).

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

К одной из таких технологий, реализующих понятные показанные желания заказчика, следует отнести метод «сверху-вниз». Технология «сверху-вниз» сначала нашла широкое применение за рубежом, в частности, в Европе [1, 2] и Америке. Это связано с тем, что данный способ позволяет одновременно вести работы по устройству подземной и наземной частей зданий, что соответственно ускоряет сроки окупаемости инвестиций. Данная технология уже нашла свое место и в России. Например, в 2002 году по технологии «сверху-вниз» был построен многофункциональный комплекс «Арабат-Центр», комплекс «Царев-сад» в Москве (рис. 1), а технологию теперь иногда называют уже и «московской» [3].

Суть ставшей уже традиционной технологии сверху-вниз заключается в следующем. Вначале, по периметру будущего здания, устраивается монолитная или сборно-монолитная стена в грунте [4]. Одновременно со стеной в грунте, или с небольшой сдвижкой во времени, устраиваются сваи-колонны, специально разработанной конструкции. Ведь реализация такого крупномасштабного проекта, как "Царев сад", была бы невозможна без использования новой конструкции и технологии возведения буровых колонн, специально разработанных для этого объекта. Для того, чтобы подчеркнуть принципиальные отличия примененного решения от широко известных буро инъекционных свай, введен в употребление термин "буровые колонны" [6-10]. Никаких ограничений по опережающему строительству надземных частей зданий над подземными реализуемый проект не предусматривал. Учитывалось, что чем быстрее растут надземные этажи, тем больше пригруз котлована и ниже величина деформаций окружающего грунтового массива и возводимых конструкций. С дневной поверхности стройплощадки, с высокой точностью, возведены 225 буровых колонн длиной по 26,5 м в качестве постоянных несущих конструкций, не требовавших по замыслу проектировщиков, никакого последующего усиления или доработки.

Процесс изготовления железобетонной сваи-колонны предусматривает предварительное образование в грунте вертикальной скважины, причем разработку грунта осуществляют обычно под давлением глиняного раствора в обсадной трубе. После образования скважины проектной глубины в нее погружают нижнюю часть арматурного каркаса, соединенного нахлесточными

сварными соединениями с не извлекаемой трубой-опалубкой, в которой жестко закреплен арматурный каркас с закладными деталями верхней опорной части железобетонной сваи-колонны. Далее производят заполнение скважины бетонной смесью по методу подводного бетонирования, когда более тяжелая бетонная смесь вытесняет более легкий глиняный раствор и, далее, твердением бетона, получают готовую железобетонную сваю-колонну.

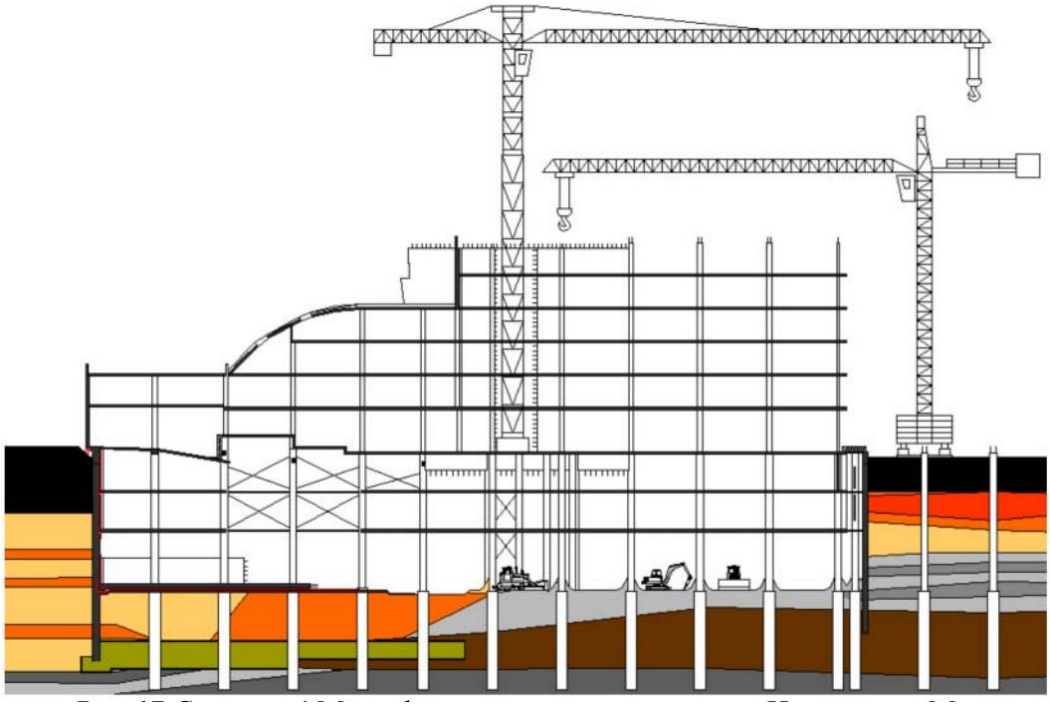


Рис. 1. Организация строительства многофункционального комплекса «Царев сад» в Москве. Завершение разработки грунта на 4-м ярусе котлована под защитой перекрытий над -1-м, -2-м и -3-м этажами. Параллельное возведение фундаментной плиты и конструкции +6-го этажа надземной части

Fig. 1. Organization of construction of a multifunctional complex "Tsarev Sad" in Moscow. Completion of soil development on the 4th tier of the excavation under the protection of floors over the 1st, 2nd, and 3rd floors. Parallel construction of the base plate and structure + 6th floor aboveground part

Далее приступают к устройству перекрытий с разработкой котлована. Вначале производится бетонирование перекрытия верхнего этажа подземной части каркаса. Затем, после набора прочности перекрытием, приступают к разработке котлована на один этаж. Котлован разрабатывается через технологические проемы, на месте которых по проекту планируются пандусы, лестничные клетки или лифтовые шахты. После разработки грунта на один этаж снова производится бетонирование следующего перекрытия, и далее процесс повторяется необходимое количество раз. После бетонирования последнего перекрытия разрабатывается грунт и устраивается проектная фундаментная плита.

Как показала уже имеющаяся практика устройства подобных конструкций, по нашему мнению, одним из недостатков технологии является затрудненное последующее обнажение верхней опорной части колонны. Это происходит из-за того, что наблюдается естественное сцепление уже набравшего прочность и схватившегося с поверхностью не извлекаемой стальной конструкции, пусть и тощего, в верхней части скважины, бетона, полученного нагнетанием смеси под давлением из бетонолитной трубы (рис. 2).

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования и разработки – совершенствование конструкции сваи-колонны для облегчения очистки ее верхней, колонной части, в процессе последующей разработки грунта подземной части многоэтажного каркасного сооружения. Для достижения поставленной цели предусматривалось решение **задач** по анализу состояния вопроса, определению направлений изысканий и создание усовершенствованной конструктивно-технологической схемы по инновационному устройству вертикального несущего элемента этого сооружения.

Рис. 2. Застывший на поверхности опорной части сваи-колонны бетон, требующий дополнительных затрат для его удаления и производства последующих отделочных работ

Fig. 2. Concrete hardened on the surface of the pile-column bearing, requiring additional costs for its removal and subsequent finishing works

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Техническим результатом предложенного совершенствования конструкции является облегчение очистки поверхности верхней опорной части железобетонной сваи-колонны после бетонирования, набора прочности и последующей отрывки грунта, что оказывает влияние на затраты ресурсов и сокращение сроков строительства всего объекта. Указанный технический результат достигается тем, что железобетонная свая-колонна в виде не извлекаемой трубы-опалубки дополнительно содержит слой материала с низким сцеплением с бетоном при его твердении, расположенный на верхней опорной части, причем этот слой материала преимущественно выполнен из полимера, например, винипласта.

Для облегчения очистки поверхности опорной части сваи-колонны после бетонирования и последующей разработки грунта предлагается на трубу-опалубку установить съемную полимерную оболочку преимущественно в виде трубы из винипласта, практически не имеющую сцепления с бетонной смесью при ее твердении, т.е. адгезии к бетону. Для облегчения снятия полимерной оболочки и возможностью повторного ее использования, как вариант, предлагается эту трубу выполнить разъемной из нескольких частей. В дальнейшем, после разработки котлована вокруг верхней опорной части железобетонной сваи-колонны, съемную полимерную оболочку удаляют и получают готовую чистую поверхность трубы-опалубки. К ней по мере разработки грунта, или после выемки всего проектного объема грунта, пристраивают горизонтальные несущие конструкции перекрытий подземных этажей.

Следовательно, процесс изготовления железобетонной сваи-колонны предусматривает предварительное образование в грунте вертикальной скважины с кондуктором в ее устье, а сама свая представляет собой сборно-монолитную систему, как показано на рис. 3.

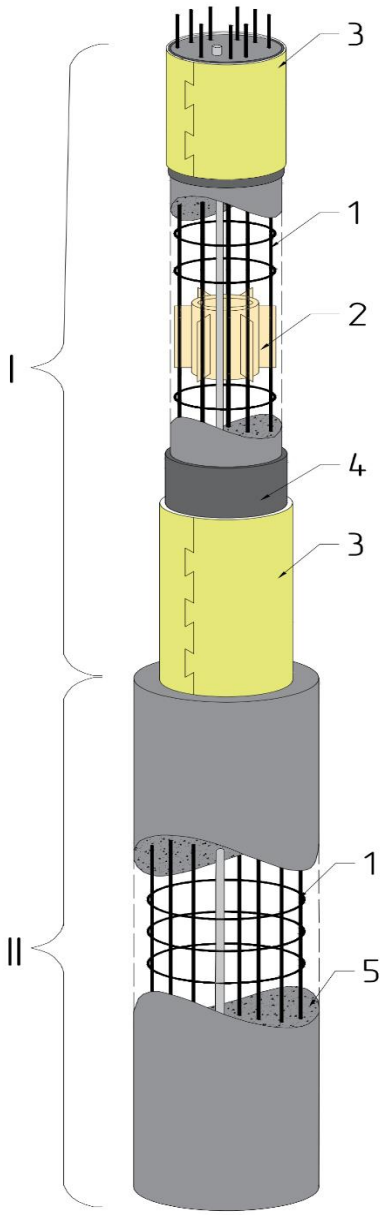


Рис. 3. Предложенная усовершенствованная конструкция железобетонной сваи-колонны: I – опорная часть; II – фундаментная часть; 1 – арматурный каркас; 2 – зонтик - ограничитель; 3 – съемная полимерная оболочка; 4 – колонна трубобетонного каркаса; 5 – бетонная смесь

Fig. 3. The proposed improved design of reinforced concrete piles, columns: I - the supporting part; II - the fundamental part; 1 - reinforcement cage; 2 - umbrella - limiter; 3 - removable polymer shell; 4 - column of pipe frame; 5 - concrete mix

Забетонированная железобетонная свая-колонна состоит из верхней опорной части I и нижней фундаментной части II, внутри которых находится общий вертикальный арматурный каркас, а вся скважина для будущей сваи заполнена бетоном. От смещения в процессе бетонирования и набора прочности каркас удерживается ограничителями в теле сваи и кондуктором в

верхней, трубной ее части. Согласно нашим усовершенствованиям, эта трубная часть перед погружением, еще при сборке стального каркаса в заводских условиях или на стройплощадке, покрыта слоем адгезионного к бетонной смеси материала, например, пленкой из полиэтилена или выполнена в виде наружной трубы из винипласта.

Комплексный технологический процесс производства конструкций многоэтажной подземной части объекта представлен на рис. 4. Как отмечалось ранее, предварительно устраиваются ограждающие железобетонные конструкции подземной части будущего сооружения способом стена в грунте, а затем или параллельно со стеной, с дневной поверхности земли, приступают к устройству свай-колонн представленной усовершенствованной конструкции.

Чтобы не обрушались вертикальные стенки скважины, кроме кондуктора, как и традиционной технологии, предусматривается разработка грунта под давлением глиняного раствора в обсадной трубе. После образования скважины проектной глубины в нее погружают нижнюю часть арматурного каркаса, соединенного нахлесточными сварными соединениями с не извлекаемой трубой-опалубкой, в которой жестко закреплен арматурный каркас с закладными деталями верхней опорной части железобетонной сваи-колонны. Далее производят заполнение скважины бетонной смесью по методу подводного бетонирования, когда более тяжелая бетонная смесь вытесняет более легкий глиняный раствор и, таким образом, твердением бетона, получают готовую железобетонную сваю-колонну (рис. 4).

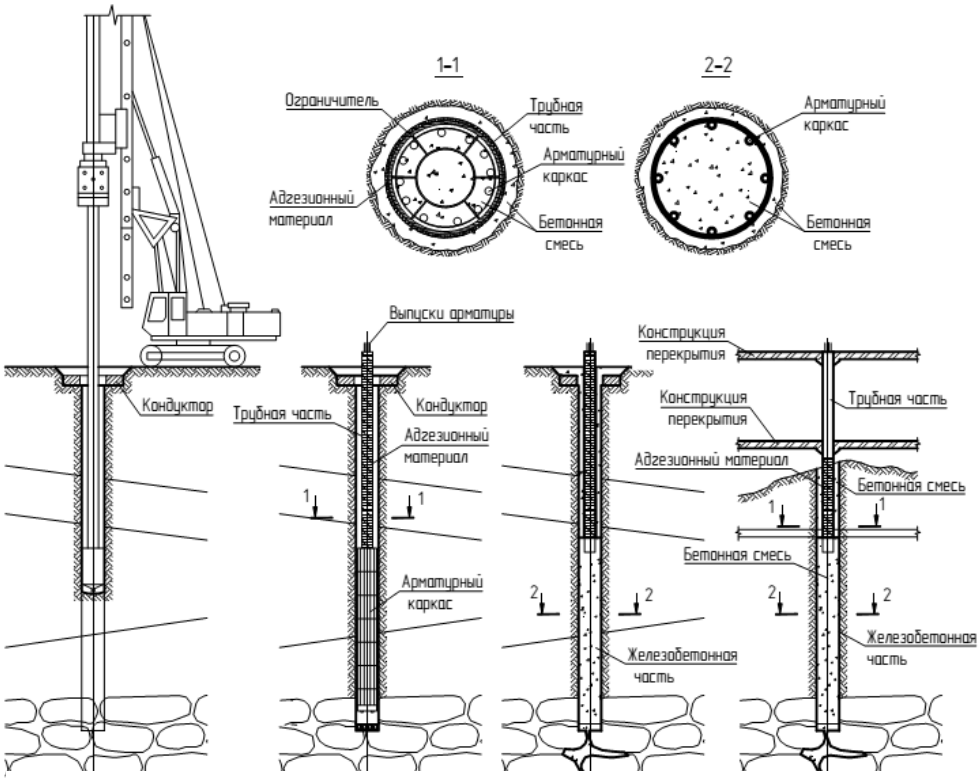


Рис. 4. Технологический процесс изготовления железобетонной сваи-колонны: а) – устройство скважины в обсадной трубе (условно не показана) под защитой глиняного раствора, б) – погружение и закрепление арматурного каркаса с трубной частью, в) заполнение скважины бетонной смесью по методу вертикально восходящего раствора, г) – разработка грунта и устройство между этажных перекрытий

Fig. 4. The technological process of manufacturing a reinforced concrete pile-column: a) —the device of the well in the casing pipe (conventionally not shown) under the protection of the clay solution; b) —diving and fixing the reinforcement cage with the pipe part; solution, g) - soil development and device between floors

Выполнив таким образом полностью или в пределах захватки, запроектированную часть свайного поля, можно приступать к отрывке котлована вокруг верхней опорной части железобетонной сваи-колонны. В процессе этой работы дополнительный слой материала, обладающий низким сцеплением с бетоном при его твердении, расположенный на верхней колонной части, удаляют и получают готовую чистовую поверхность трубы-опалубки. К ней до, по мере разработки грунта, или после выемки всего проектного объема грунта, пристраивают горизонтальные конструкции перекрытий. Технология устройства междуэтажных преимущественно монолитных железобетонных перекрытий в данной работе не представлена. Она

может осуществляться как по отработанному «московскому методу», когда «стена в грунте» распирается не распорной системой из массивных металлических конструкций, а инвентарными стальными распорками (фермами, собираемыми на месте из легких металлических элементов) и, образующимися после твердения бетона, дисками перекрытий подземной части возводимого здания или сооружения, так и путем его дальнейшего организационно-технологического и конструктивно-планировочного совершенствования.

Таким образом, использование предложенной конструкции железобетонной сваи-колонны позволит добиться облегчения очистки поверхности верхней опорной части железобетонной сваи-колонны после бетонирования, набора прочности и последующей отрывки грунта, а, следовательно, сокращения затрат ресурсов и сроков строительства всего объекта.

ВЫВОДЫ

Выполненная и представленная в данной статье разработка запатентована в Российской Федерации как полезная модель [11]. Она стала составной частью выпускной квалификационной работы магистра С.Ю. Рамазанова, представленной на конференции [12] и анонсированной ранее в статье [13]. Дальнейшее, уже частично выполненное, развитие предложенной технологии предполагает совершенствование организации производства работ по устройству монолитных железобетонных перекрытий подземных этажей с оценкой экономической эффективности комплексного совершенствования и внедрения инноваций в обозначенном направлении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Катиценбах, Р., Дунаевский, Р.А., Муляр, Д.Л., Дьяченко, К.О. Строительство высотных зданий методом «сверху-вниз» («top-down») // Новые технологии в строительстве. 2010. - №2(20). – С.23-28.

2. Заяць, Є.І. Особливості застосування методу будівництва «вверх-вниз» під час зведення висотних будівель // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпро: ПДАБА, 2017. – № 1. – С. 64-69.

3. Чернышова, А.М. Технология возведения подземной части здания или сооружения «московским методом» / Строительство — формирование среды жизнедеятельности: XXI Международная научная конференция [Электронный ресурс]: сборник материалов семинара «Молодежные инновации» (г. Москва, 25–27 апреля 2018 г.) / М-во образования и науки Росс. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. — Электрон. дан. и прогр. (6 Мб). — М.: Издательство МИСИ–МГСУ, 2018. - С.370-372.

4. Верстов, В.В., Гайдо, А.Н., Иванов, Я.В. Технологии устройства ограждений котлованов в условиях городской застройки и акваторий: [учебн. пос.] / Под ред. В.В. Верстова. СПб.: Изд-тво «Лань», 2014. - 368 с.

5. Романенко, Т.Н., Керимов, А.Д., Древетняк, О.И. Современные методы возведения фундаментов сейсмостойких сооружений // Строительство и техногенная безопасность. – 2016. - №2(54). – С.27-30.

6. Юркевич, П.Б. Буровые колонны – новая реальность // Подземное пространство мира. - 2001. - №4. - С.12-21.

7. Юркевич, П.Б. Возведение монолитных железобетонных перекрытий при полузакрытом способе строительства подземных сооружений // Подземное пространство мира. – 2002. – №1. – С.13–22.

8. Пат. №2220258 С1, Российская Федерация, МПК E02D29/00 (2000.01). Способ возведения многоэтажного подземного сооружения (варианты) / С.О. Зеге, И.А. Зеге, Н.С. Зеге. — заявка №2003109468/03. – Заявл. 04.04.2003; опубл. 27.12.2003, Бюл. №36.

9. Пат. № 2229557 С1, Российская Федерация, МПК E02D5/00, 5/38, 5/60, 5/66 (2006.01). Буровая железобетонная колонна и способ ее возведения / П.Б. Юркевич. — заявка №2003116153/03. – Заявл. 02.06.2003; опубл. 27.05.2004, Бюл. №15.

10. Пат. № 2375521 С1, Российская Федерация, МПК E02D5/48 (2006.01). Способ возведения свайного фундамента под большие нагрузки / Г.Д. Богвава, О.Д. Сепашвили. — заявка №2008128064/03. – Заявл. 11.07.2008; опубл. 10.12.2009, Бюл. №34.

11. Пат. № 173169 U1, Российская Федерация, МПК E02D5/38 (2006.01). Железобетонная свая-колонна / В.Т. Шаленный, О.Л. Балакчина, С.Ю. Рамазанов. — заявка № 2017107649. – Заявл. 07.03.2017; опубл. 15.08.2017, Бюл. №23.

12. Рамазанов, С.Ю., Балакчина, О.Л., Шаленный, В.Т. Развитие технологии устройства вертикальных подземных многоэтажных конструкций для возведения сооружений по методу «сверху-вниз». / Сб. тез. участников междун. студ. строительного форума - 2017 «Инновационное развитие строительства и архитектуры: взгляд в будущее». - Симферополь, 15 - 17 ноября 2017г.: ИТ «АРИАЛ», 2017. - С.154 - 156.

13. Шаленный, В.Т. Изыскания и отражение проблем безопасности жизнедеятельности в программе «теория и практика организационно-технологических решений» для подготовки магистров-строителей // Строительство и техногенная безопасность. – 2017. - №7(59). – С.43-49.

REFERENCES

1. Katyenbakh, R., Dunaevsky, R.A., Mulyar, D.L., Dyachenko, K.O. Construction of high-rise buildings using the “top-down” method // New

technologies in construction. 2010. - №2 (20). - p.23-28.

2. Hare, Є.I. Osobennosti zasosuvannya method of budvnitstva "up-down" pid hour zvëdennya vysotnich budivel // News of Pridniprovskoe State Academy of Budivnits and architects. - Dnipro: PDBA, 2017. - № 1. - p. 64-69.

3. Chernyshov, A.M. The technology of construction of the underground part of a building or structure by the “Moscow method” / Construction - formation of the living environment: XXI International Scientific Conference [Electronic resource]: collection of materials of the seminar “Youth Innovations” (Moscow, April 25–27, 2018) / M- in education and science Ross. Federation, Nat. researched Mosk. state builds un-t - Electron. Dan. and prog. (6 MB) - M .: Publishing house MISI – MGSU, 2018. - P.370-372.

4. Verstov, V.V., Gaido, A.N., Ivanov, Ya.V. Technologies for pits fencing in urban areas and water areas: [training. pos.] / ed. V.V. Verstova. SPb .: “Lan” publishing house, 2014. - 368 p.

5. Romanenko, T.N., Kerimov, A.D., Dravetnyak, O.I. Modern methods of building foundations of seismic structures // Construction and technological safety. - 2016. - №2 (54). - P.27-30.

6. Yurkevich, P.B. Drilling columns - new reality // Underground space of the world. - 2001. - №4. - C.12-21.

7. Yurkevich, P.B. Construction of monolithic reinforced concrete floors with a half-closed method of construction of underground structures // Underground space of the world. - 2002. - №1. - C.13-22.

8. Pat. No. 2220258 C1, Russian Federation, IPC E02D29 / 00 (2000.01). The method of construction of multi-storey underground structures (options) / SO Zege, I.A. Zege, N.S. Seeg. - application number 2003109468/03. - Appl. 04/04/2003; publ. 12.27.2003, Byul. No. 36

9. Pat. No. 2229557 C1, Russian Federation, IPC E02D5 / 00, 5/38, 5/60, 5/66 (2006.01). Drilling reinforced concrete column and method of its construction / P.B. Yurkevich. - application number 2003116153/03. - Appl. 06/02/2003; publ. 05/27/2004, Byul. №15.

10. Pat. No. 2375521 C1, Russian Federation, IPC E02D5 / 48 (2006.01). The method of construction of pile foundations under heavy loads / GD. Bogvava, OD Sepashvili. - application number 2008128064/03. - Appl. July 11, 2008; publ. 10.12.2009, Bull. No. 34.

11. Pat. No. 173169 U1, Russian Federation, IPC E02D5 / 38 (2006.01). Reinforced concrete pile-column / V.T. Shaly, O.L. Balakchina, S.Yu. Ramazanov. - application number 2017107649. - Appl. 03/07/2017; publ. 08/15/2017, Bull. No. 23

12. Ramazanov, S.Yu., Balakchina, OL, Shalenny, V.T. The development of technology for the installation of vertical underground multi-storey structures for the construction of structures using the top-down method. / Sat. mes. participants between stud Construction Forum - 2017 "Innovative development of construction and architecture: a look into the future." - Simferopol, November 15 - 17, 2017: IT "ARIAL", 2017. - P.154 - 156.

13. Shale, V.T. Research and reflection of the problems of life safety in the program "Theory and Practice of Organizational and Technological Solutions" for the preparation of master builders // Construction and Technological Safety. - 2017. - №7 (59). - P.43-49.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF UNDERGROUND MULTI-STOREY FRAME CONSTRUCTION BY TOP-DOWN METHOD WITH STEEL AND CONCRETE PILES-COLUMNS IMPROVED DESIGN

Shalenny V.T.

Summary. Presented advanced technology device prefabricated monolithic drilling injection pile consisting of reinforced concrete foundation and composite reference parts. Pile-columns designed under heavy loads from the multistory underground frame, constructed by the method of "top-down" approach. To facilitate cleaning of the surface of the supporting part of the hardened concrete skinny suggested covering her material with minimum adhesion, for example, viniplastom. Showing the benefits of application management and the further development of innovations.

Key words: pile-column, method of top-down, multistory skeleton underground part.

УДК 691.316

ОСОБЕННОСТИ КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО НА КВАРЦ-ПОЛЕВОШПАТОВОМ ПЕСКЕ

Попов А.Л., Строкова В.В., Нелюбова В.В.

[1] Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова, 46, Белгород, surrukin@gmail.com

Аннотация. В статье обоснована актуальность исследований в области композиционных вяжущих для расширения спектра эффективных компонентов. Основным компонентом композиционного вяжущего рассматривается кварц-полевошпатовый песок с поймы реки Лены. Данный песок предлагается в виду его распространенности, доступности и генетической подготовленности, характеризуемой естественной очисткой от глинистых примесей и полидисперсным составом благодаря составу материнских горных пород. В работе показана эффективность алюмосиликатного песка как компонента композиционных вяжущих на основе данных о его размолоспособности, гранулометрии и физико-механических характеристик вяжущего с его использованием. Показана возможность изменения сроков схватывания и реологических характеристик цементного теста, изучена кинетика набора прочности вяжущих в зависимости от их состава. Результаты, полученные в работе, могут быть использованы как на предприятиях по производству вяжущих на основе цемента, так и на действующих или вновь создаваемых по выпуску эффективных композитов строительного назначения.

Ключевые слова: композиционное вяжущее, кварц-полевошпатовый песок, тонкомолотый многокомпонентный цемент, вяжущее низкой водопотребности.

ВВЕДЕНИЕ

Современные темпы строительства напрямую зависят от мощности цементной промышленности. Малые города Сибири и Дальнего Востока, относящиеся к Крайнему Северу, характеризуются маломощными заводами по производству цемента, а дальнее расположение и недостаточно развитая инфраструктура приводит к высокому ценообразованию привозных строительных материалов. Одним из путей решения данной проблемы является разработка композиционных вяжущих с заменой части клинкерной составляющей безобжиговым природным сырьем. Такой путь развития существенно снижает материалоемкость цементных изделий с сохранением физико-механических свойств, а также повышает экологичность продукции.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Основная функция композиционных вяжущих (КВ) – максимальное использование возможностей портландцемента и снижение материалоемкости в технологии бетонов при увеличении темпов производства бетонных изделий.

Наиболее эффективными композиционными вяжущими являются тонкомолотый многокомпонентный цемент (ТМЦ) и вяжущее низкой водопотребности (ВНВ), отличающееся от ТМЦ введением пластифицирующего компонента. Получение данных вяжущих происходит при доизмельчении портландцемента до уровня дисперсности 500–550 м^2/кг, приводящем к его механоактивации. Доизмельчение может происходить как чистого цемента без вводимых компонентов, при этом получают ТМЦ-100, так и в присутствии пластификатора – ВНВ-100 [1].

Учеными БГТУ им. В.Г. Шухова расширен спектр эффективных компонентов ВНВ и ТМЦ: в качестве кремнеземсодержащего сырья использовались отходы горнорудной промышленности [2, 3]; отсевы дробления кварцитопесчаника [4, 5]; отходы алмазообогащения [6, 7]; вулканогенно-осадочные породы [8–13]; пески различных месторождений [14–19].

Наиболее распространенным сырьём для Дальнего Востока и Сибири, с обилием крупных рек, являются речные кварц-полевошпатовые пески. Наличие полевошпатовой компоненты в песках обусловлено аллювиальными отложениями, приносимыми водными потоками с верхних течений рек. При этом с учетом особенностей получения вяжущего (измельчение основных компонентов) применение полиминеральных компонентов является более эффективным ввиду ускоренного измельчения вещества, а также формирования полидисперсной системы с оптимальной степенью упаковки частиц материала. В связи с этим актуально изучение эффективности

данного алюмосиликатного сырья как компонента композиционных вяжущих.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В представленной работе применены наиболее актуальные на сегодняшний день методики анализа сырья и принципы получения КВ, предложенные исследователями БГТУ им. В.Г. Шухова [1–3].

.

В работе использовались цемент ЦЕМ I 32,5Н производства АО «Якутцемент» (г. Якутск). В качестве кремнеземсодержащего компонента – кварц-полевошпатовый песок Ленского бассейна, являющийся песком алюмосиликатного состава (таблица 1) и не имеющий статуса традиционного сырья для строительной индустрии [20]. В качестве добавки для получения ВНВ применялся пластификатор производства BASF Construction Solutions – полиэфиркарбоксилатный Melflux 1641F

Таблица 1. Минералогический состав кварц-полевошпатового песка

Table 1. Mineralogical composition of quartz-feldspar sand

Минерал	Кварц	Альбит	Микроклин	Иллит	Биотит	Роговая обманка	Гисмондин	Аморфная фаза
Содержание, %	29,84	17,48	4,71	2,46	1,06	2,59	1,08	40,78

Для обоснования эффективности кварц-полевошпатового песка как компонента композиционного вяжущего были изучены его размолоспособность и коэффициент качества.

Изучение размолоспособности производилось при использовании лабораторной шаровой валковой мельницы типа МЛ-1му. Контроль удельной поверхности измельченных порошков материалов осуществлялся методом воздухопроницаемости с помощью прибора ПСХ-12 по ГОСТ 310.2–76.

Оценку качества песков как компонентов композиционных вяжущих проводили по методике, предложенной учеными БГТУ им. В.Г. Шухова. Для испытаний приготавливали ТМЦ-50 с удельной поверхностью 500 м^2/кг. Испытание активности ТМЦ проводили согласно ГОСТ 30744-2001.

Коэффициент качества кремнеземистого компонента рассчитывался по формуле:

$$K_к = \frac{R_А^{П}}{R_А^{В.П.}} \quad (1)$$

где $R_А^{П}$ – активность ТМЦ на изучаемом типе кварца, МПа;

$R_А^{В.П.}$ – активность на кварце песка Вольского месторождения, МПа.

Композиционные вяжущие получали по методу двухстадийного помола [19]: первоначальное измельчение кварцевого компонента совместно с пластификатором до удельной поверхности 300–350 м^2/кг с последующим домолом с цементом до дисперсности 500–550 м^2/кг.

Основные физико-механические свойства вяжущих определяли согласно стандартным методикам: нормальную густоту и сроки схватывания исходного и композиционных вяжущих определял в соответствии с ГОСТ 310.3-76 «Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема».

Оценка реологических свойств вяжущих осуществлялась при помощи ротационного вискозиметра Rheotest RN4.1. Измерения проводились с использованием цилиндрической измерительной системы и регуляцией напряжения сдвига в режиме «подъем – выдержка – падение». Полное время измерения 5 минут: 120 секунд – подъем скорости, 60 секунд – выдерживание скорости, 120 – секунд снижение скорости, максимальная скорость вращения 150 сек$^{-1}$. Результаты изображаются в виде графиков зависимостей вязкости и напряжения сдвига от градиента скорости сдвига.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Исследуемый песок состоит преимущественно из частиц среднего размера округлой формы светло-желтого цвета с некоторым содержанием включений из темных зерен. Насыпная плотность составляет 1630 кг/м^3, модуль крупности 2,9, преобладает фракция 1,25–2,5 (таблица 2). Результаты просеивания методом ситового анализа показывают, что зерновой состав песка входит в допустимые пределы колебаний зернового состава песка для бетона. В результате, данные пески относятся к категории крупных I класса.

Таблица 2. Зерновой состав песка

Table 2. Grain size composition of sand

	Размер фракций, мм						$М_к$
	5 – 2,5	2,5 – 1,25	1,25 – 0,63	0,63 – 0,315	0,315 – 0,14	<0.14	
Частные остатки, %	14,4	31,35	15,37	19,48	11,9	7,5	2,9
Полные остатки, %	14,4	45,75	61,12	80,6	92,5	100	

От скорости измельчения компонентов зависит себестоимость получаемых в работе вяжущих. В связи с этим была изучена размолоспособность (зависимость удельной поверхности от длительности помола) речного песка Ленского бассейна. Для адекватной оценки данных и сравнения, в работе также были изучены кварцевый песок Корочанского месторождения и отсев дробления кварцитопесчаника Лебединского ГОК.

Согласно кинетике помола (рисунок 1), кварц-полевошпатовый песок характеризуется большей скоростью достижения необходимой удельной поверхности по сравнению с кварцевым песком. Это связано с тем, что твердость полевых шпатов, составлявших большую часть изучаемого песка, ниже по сравнению с кварцем, и составляет 4–5 по шкале Мооса. Более высокая размолоспособность отсева дробления кварцитопесчаника связана с его генетическими особенностями – метаморфогенный генезис, что хорошо описано в работе Лесовика Р.В [2].

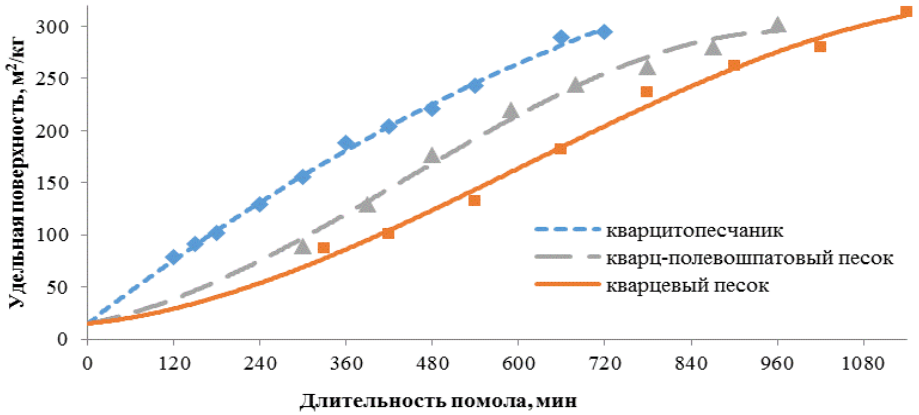


Рис. 1. Динамика помола на шаровой мельнице

Fig. 1. Dynamics of grinding in a ball mill

По результатам испытаний (таблица 3) показана возможность применения речного кварц-полевошпатового песка в качестве кремнеземистого компонента композиционных вяжущих. Данное сырье обладает $К_к$ равным 0,96. Так, несмотря на характерное для речных песков малое содержание кварца, он не сильно уступает в качестве эталонному кварцевому песку благодаря естественной высокой степени очистки от глинистых и других посторонних включений.

Таблица 3. Сравнительная характеристика кремнезёмистого сырья как компонента композиционного вяжущего

Table 3. Comparative characteristics of silica raw materials as a component of the composite binder

№	Наименование кремнеземистого компонента в ТМЦ-50	Коэффициент качества
1	Отсев дробления кварцитопесчанника Лебединского ГОКа	1,29
2	Песок Вольского месторождения	1
3	**Речной песок Ленского бассейна**	**0,94**
4	Песок Корочанского месторождения	0,84

На основе кварц-полевошпатового песка было приготовлено 4 вида вяжущих различного состава. Для получения данных о качестве разработанных вяжущих были изучены их основные физико-механические показатели по соответствующим нормативным методикам (таблица 4). Ожидаемо, что разработанные вяжущие характеризуются отложенными сроками схватывания, которые напрямую коррелируют с водоцементным отношением, возрастающим ввиду увеличения дисперсности системы и, соответственно, ее водопотребности. ВНВ характеризуются наиболее поздним началом и концом схватывания, что можно связать с наличием в системе пластификатора, механизм действия которого основан на его адсорбции на твердых частицах цемента и формировании адсорбционных слоев высокой плотности, что приводит к более позднему доступу воды к частицам цемента и, как следствие, увеличению сроков схватывания. Отмечено повышение нормальной густоты для вяжущих ТМЦ-50 и ТМЦ-70 и снижение для ВНВ-50 и ВНВ-70, относительно чистого цемента. Снижение нормальной густоты является положительным фактом и позволяет получать более подвижные смеси с меньшим содержанием цемента и воды, что

также может положительно сказываться на прочностных характеристиках цементного камня. Показаны прочностные характеристики композиционных вяжущих в зависимости от состава. Максимальной прочностью характеризуются вяжущие ВНВ-50 и ВНВ-70: 39,9 и 55,1 МПа соответственно. Однако, их преимущество над вяжущими ТМЦ одинаковых марок, не превышает 5 %.

Таблица 4. Физико-механические свойства вяжущих в зависимости от состава

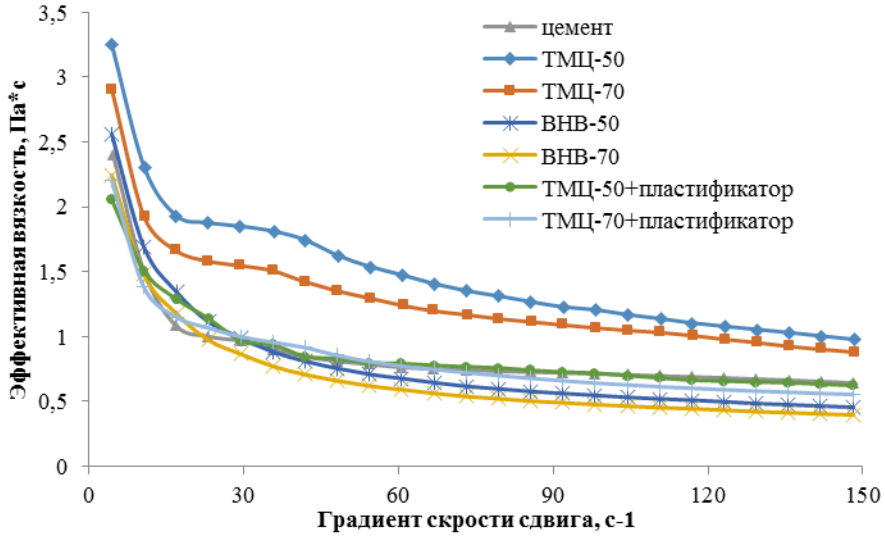
Table 4. Physical and mechanical properties of binders, depending on the composition

Название вяжущего	Состав вяжущего, %		Пластификатор, % от массы вяжущего	Нормальная густота	В/Ц	Начало схватывания, мин	Конец схватывания, мин	Прочность на сжатие, МПа
	Цемент	Кремнеземистые компонент						
ЦЕМ 32,5Н	100	0	–	25	0,25	150	220	42,5
ТМЦ-70	70	30	–	27	0,38	160	270	52,5
ТМЦ-50	50	50	–	28	0,56	170	300	38,75
ВНВ-70	70	30	0,25	22	0,31	170	300	55,1
ВНВ-50	50	50	0,25	23	0,46	190	310	39,9

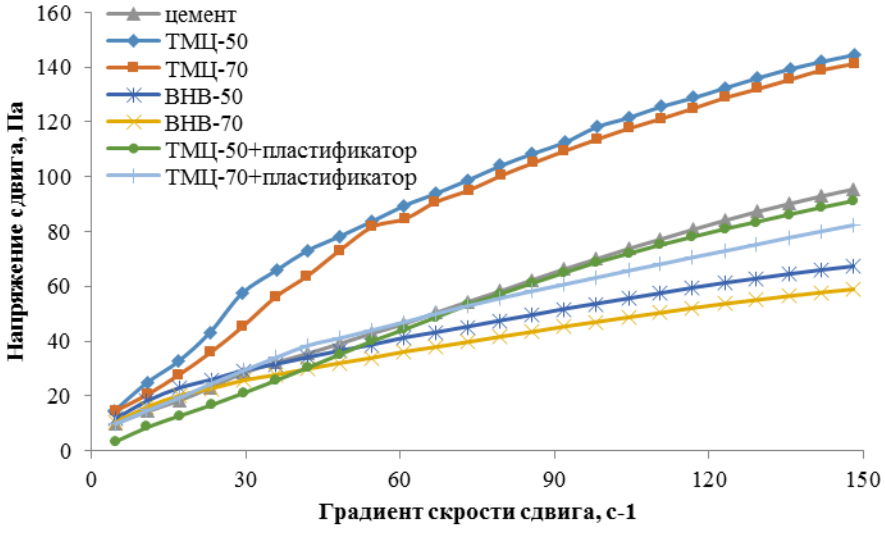
Вяжущие ТМЦ-50 и ТМЦ-70 характеризуются большей вязкостью и напряжением, чем контрольный образец чистого цемента (рисунок 2). Причем общий характер течения всех вяжущих одинаков и соответствует тиксотропному типу течения: при минимальной нагрузке отмечается максимальное значение вязкости. Увеличение нагрузки приводит к падению вязкости в 3 раза независимо от вида вяжущего. Значения напряжений при малых значениях скорости сдвига в вяжущих системах почти не различаются, однако с повышением оборотов различие напряжений в композиционных вяжущих и цементе возрастает. Стоит отметь более высокую начальную вязкость суспензий тонкомолотых цементов, что связано, в первую очередь, с более высокой дисперсностью цементов, а также активностью входящих в него компонентов, сформированной в результате механоактивации, что обеспечивает образование устойчивых пространственных коагуляционных структур. Однако, введение в вяжущие пластификатора нивелирует повышение вязкости, что отчетливо демонстрируется по характеру реограмм вяжущих: отмечаются сопоставимые значения начальной вязкости композиционных вяжущих независимо от способа введения пластификатора (при помоле или модифицировании после получения вяжущего).

Таким образом, ВНВ на кварц-полевошпатовом песке не обладает преимуществами в части физико-механических свойств по сравнению с ТМЦ различных марок: введение пластификатора после получения вяжущего позволяет снизить начальную вязкость суспензий на их основе. При этом прочность камня на основе обоих видов вяжущих характеризуется сопоставимыми значениями по прочности.

Для формирования оптимальной структуры композитов на основе цементных вяжущих имеет значение не только их конечная прочность, но и кинетика ее набора. Согласно полученным данным (рисунок 3), набор прочности композиционных и контрольного вяжущих происходит аналогично. Главным отличием является величина прочности. Как и следовало ожидать, ТМЦ-50 показывает прочности с 7 по 28 сутки твердения несколько ниже, чем портландцемент. Стоит учитывать, что клинкерная составляющая в вяжущем ТМЦ-50 сокращена в 2 раза, поэтому падение прочности на 10 % является не критичным и фактически соответствует марке цемента ЦЕМ I 32,5 Н. ТМЦ-70 показывает более высокие прочностные характеристики на протяжении всего времени твердения, а максимальная прочность на 28 сутки выше контрольного состава на 23 %.



а



б

Рис. 2. Реограммы композиционных вяжущих в зависимости от состава:
а – зависимость вязкости от градиента скорости сдвига;
б – зависимость напряжения от градиента скорости сдвига

Fig. 2. Reograms of composite binders depending on the composition:
a - dependence of viscosity on shear rate gradient;
b - strain dependence on shear rate gradient

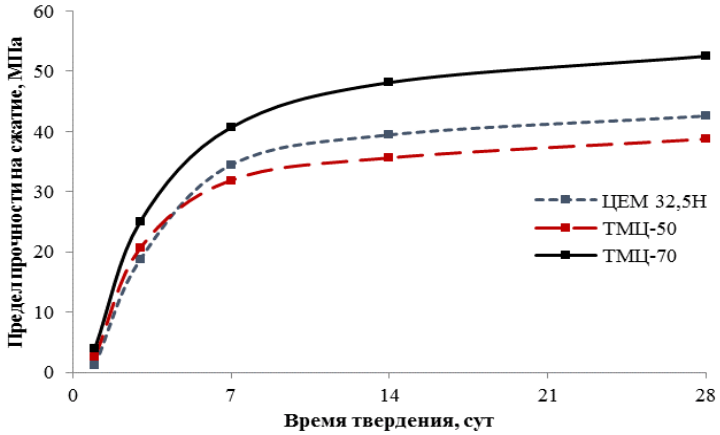


Рис. 3. Кинетика роста прочности вяжущих в зависимости от состава

Fig. 3. The kinetics of the strength growth of binders, depending on the composition

ВЫВОДЫ

Таким образом, теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность получения композиционных вяжущих различных марок с использованием песка алюмосиликатного состава, обеспечивающего получение конечного материала со свойствами сопоставимыми с исходным цементом при существенно сниженной доле клинкерной составляющей. Доказанная эффективность кварц-полевошпатового песка как компонента композиционного вяжущего обусловлена его генетической подготовленность (естественной очистке от глинистых примесей и полиминеральностью, связанной с составом материнских горных пород), что подтверждается данными по размолоспособности и коэффициенту качества.

Композиционное вяжущее на кварц-полевошпатовом песке характеризуется высокими физико-механическими показателями.

Разработаны составы вяжущего на цементе с маркой ЦЕМ I 32,5Н и кварц-полевошпатовом песке алюмосиликатного состава: ТМЦ-50 с активностью 38,8 МПа, позволяющие при 50% замене цемента сохранить исходную марку цемента и снизить реологические показатели; ТМЦ-70 с активностью 52,5 МПа, позволяющие при замене части цемента (30%) повысить марку вяжущего и улучшить реологические показатели.

Разработанные составы вяжущих могут быть использованы для получения широкого спектра материалов строительного назначения и особенно актуальны в регионах с высокой стоимостью базовых вяжущих.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента для молодых кандидатов МК-5980.2018.8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лесовик В.С., Алфимова Н.И., Шейченко М.С., Яковлев Е.А. К проблеме повышения эффективности композиционных вяжущих // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2009. № 1. С. 30–33.

2. Чернышев А.Ю., Лесовик Р.В. Использование отходов ММС железистых кварцитов для разработки долговечных составов ГЦПВ // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2003. № 5. С. 319.

3. Лесовик Р.В., Ходыкин Е.И., Сопин Д.М., Ряпухин Н.В. О влиянии генетических особенностей сырья и технологии на морфологию продуктов дробления // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 8. С. 22–23.

4. Лесовик Р.В., Жерновский И.В. Выбор кремнеземсодержащего компонента композиционных вяжущих веществ // Строительные материалы. 2008. № 8. С. 78–79.

5. Лесовик Р.В., Строкова В.В., Черкашин Ю.Н. Характеристика матрицы вяжущих в зависимости от состава ТМЦ и ВНВ // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2006. № 1. С. 26.

6. Лесовик Р.В., Ковтун М.Н., Алфимова Н.И. Комплексное использование отходов алмазообогащения // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 8. С. 30–31.

7. Дороганов Е.А., Лесовик В.С., Передереев Н.Г., Алфимова Н.И. Мелкозернистый бетон на основе модифицированной высококонцентрированной вяжущей суспензии кварцевого песка // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 7. С. 55–58.

8. Алфимова Н.И., Строкова В.В., Наваретте В.Ф.А. Мелкозернистые бетоны на основе вулканического сырья // Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2014.

9. Строкова В.В., Алфимова Н.И., Наваретте велос Ф.А., Шейченко М.С. Перспективы использования вулканического песка эквадора для производства мелкозернистых бетонов // Строительные материалы. 2009. № 2. С. 32–33.

10. Ковальченко О.В., Алфимова Н.И. К вопросу о применении продуктов вулканической деятельности в строительном материаловедении // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 6. С. 24–28.

11. Алфимова Н.И., Никифорова Н.А. Оптимизация параметров изготовления композиционных вяжущих на основе вулканического сырья // Региональная архитектура и строительство. 2016. № 4 (29). С. 33–39.

12. Трунов П.В., Алфимова Н.И., Лесовик В.С., Потапов В.В., Шадский Е.Е. К вопросу об использовании вулканического сырья камчатки в качестве минеральной добавки // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 4. С. 84–89.

13. Вишневская Я.Ю., Трунов П.В., Калатози В.В., Бондаренко Д.О. Перспективы повышения эффективности фибробетонов за счет применения композиционных вяжущих // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 3. С. 35–37.

14. Строкова В.В., Соловьева Л.Н., Гринев А.П. Мелкозернистый бетон на основе сырья Ханты-Мансиийского АО для монолитного строительства // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 2. С. 74–77.

15. Шейченко М.С., Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю. Современные композиционные радиационно-защитные материалы строительного назначения // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 5. С. 15–19.

16. Алфимова Н.И., Калатози В.В., Карацупа С.В., Вишневская Я.Ю., Шейченко М.С. Механоактивация как способ повышения эффективности использования сырья различного

генезиса в строительном материаловедении // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 6. С. 85–89.

17. Кобзев В.А., Сивальнева М.Н., Нелюбова В.В. Высококонцентрированная алюмосиликатная вяжущая суспензия из гранодиорита // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2018. № 1. С. 12–18.

18. Вешнякова Л.А., Строкова В.В., Айзенштадт А.М., Нелюбова В.В. Оценка эффективности кремнезёмного сырья архангельской области как компонента композиционных вяжущих // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 4. С. 7–14.

19. Бондаренко А.И., Нелюбова В.В., Лабинский И.Д., Горяйнов А.А. Влияние генезиса кварцевого компонента и типа пластификатора на реологию композиционных вяжущих // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2015. № 5. С. 57–61.

20. Местникова А.Е., Семенов С.С., Федоров В.И., Строкова В.В., Нелюбова В.В., Жерновская И.В., Сутакова Э.М. Структура и свойства пенобетона автоклавного твердения на основе кварц-полевошпатовых песков Ленского бассейна // В сборнике: Перспективные материалы в технике и строительстве: ПМТС 2015. Материалы II Всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием. Томский государственный архитектурно-строительный университет. 2015. С. 482–485.

REFERENCES

1. Lesovik V.S., Alfimova N.I., Sheychenko M.S., Yakovlev E.A. To the problem of increasing the efficiency of composite binders // Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2009. № 1. P. 30–33.

2. Chernyshev A.Yu., Lesovik R.V. The use of waste wet magnetic separation of ferruginous quartzites for the development of durable compositions of GCPB // Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2003. № 5. P. 319.

3. Lesovik R.V., Khodykin E.I., Sopin D.M., Ryapukhin N.V. On the influence of genetic features of raw materials and technology on the morphology of crushing products // Industrial and civil construction. 2007. № 8. P. 22–23.

4. Lesovik R.V., Zhernovsky I.V. Selection of a silica-containing component of composite binders // Construction materials. 2008. № 8. P. 78–79.

5. Lesovik R.V., Strokova V.V., Cherkashin Yu.N. Characteristics of the matrix of binders, depending on the composition of fine ground cement and low water demand binders // Building materials, equipment, technology of the XXI century. 2006. № 1. P. 26.

6. Lesovik R.V., Kovtun M.N., Alfimova N.I. Complex use of diamond benefication wastes // Industrial and civil construction. 2007. № 8. P. 30–31.

7. Doroganov E.A., Lesovik V.S., Perederev N.G., Alfimova N.I. Fine-grained concrete on the basis of a modified highly concentrated binder suspension of quartz sand // Industrial and civil construction. 2007. № 7. P. 55–58.

8. Alfimova N.I., Strokova V.V., Navarette V.F.A. Fine-grained concretes based on volcanic raw materials // Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2014.

9. Strokova V.V., Alfimova N.I., Navarrete Velos F.A., Sheichenko M.S. Prospects for the use of volcanic sand of Ecuador for the production of fine-grained concrete. Building Materials (Stroitel'nye materialy). 2009. № 2. P. 32–33.

10. Kovalchenko O.V., Alfimova N.I. On the use of volcanic products in building materials science // Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2017. № 6. P. 24–28.

11. Alfimova N.I., Nikiforova N.A. Optimization of manufacturing parameters of composite binders based on volcanic raw materials // Regional architecture and construction. 2016. № 4 (29). Pp. 33–39.

12. Trunov P.V., Alfimova N.I., Lesovik V.S., Potapov V.V., Shadsky E.E. On the use of volcanic raw materials of Kamchatka as a mineral additive // Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2014. № 4. P. 84–89.

13. Vishnevskaya Ya.Yu., Trunov P.V., Kalatozi V.V., Bondarenko D.O. Prospects for improving the efficiency of fiber-reinforced concrete through the use of composite binders // Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2013. № 3. P. 35–37.

14. Strokova V.V., Solovyova L.N., Grinev A.P. Fine-grained concrete on the basis of raw materials of the Khanty-Mansiisk autonomous district for monolithic construction // Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2011. № 2. P. 74–77.

15. Sheichenko M.S., Alfimova N.I., Vishnevskaya Ya.Yu. Modern compositional radiation-protective materials for construction purposes // Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2017. № 5. P. 15–19.

16. Alfimova N.I., Kalatozi V.V., Karatsupa S.V., Vishnevskaya Ya.Yu., Sheychenko M.S. Mechanoactivation as a way to increase the efficiency of using raw materials of various genesis in building materials science // Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2016. № 6. P. 85–89.

17. Kobzev V.A., Sivalneva M.N., Nelyubova V.V. Highly concentrated aluminosilicate granodiorite binding suspension // Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2018. № 1. P. 12–18.

18. Veshnyakova L.A., Strokova V.V., Ayzenstadt A.M., Nelyubova V.V. Evaluation of the effectiveness of silica raw materials of the Arkhangelsk

region as a component of composite binders // Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2015. № 4. P. 7–14.

19. Bondarenko A.I., Nelyubova V.V., Labinsky I.D., Goryainov A.A. Influence of the genesis of the quartz component and the type of plasticizer on the rheology of composite binders // Resource and energy efficient technologies in the building complex of the region. 2015. № 5. P. 57–61.

20. Mestnikova A.E., Semenov S.S., Fedorov V.I., Strokova V.V., Nelyubova V.V., Zhernovskaya I.V., Sutakova E.M. The structure and properties of autoclaved foam concrete based on the quartz-feldspath sands of the Lena basin // In collection: Advanced materials in engineering and construction: PMTS 2015. Materials of the II All-Russian Scientific Conference of Young Scientists with international participation. Tomsk State University of Architecture and Building. 2015. P. 482–485.

FEATURES OF COMPOSITE BINDER ON QUARTZ-FELDSPAR SAND

Popov A.L., Strokova V.V., Nelyubova V.V.

Summary The pa[er substantiates the relevance of research in the field of composite binders for expanding the range of effective components. Quartz-feldspar sand from the floodplain of the Lena River is considered to be the main component of the composite binder. This sand is offered in view of its abundance, accessibility and genetic fitness, characterized by natural purification from clay impurities and polydisperse composition due to the composition of parent rocks. The paper shows the effectiveness of aluminosilicate sand as a component of composite binders on the basis of data on its grindability, granulometry and physicomechanical characteristics of the binder with its application. The possibility of changing the setting time and the rheological characteristics of the cement paste is shown, strength development of the binders is studied depending on their composition. The results obtained in the work can be used both at the enterprises for the production of cement-based binders, and at existing or newly created enterprises for the production of effective composites for construction purposes.

Key words: composite binder, quartz-feldspar sand, fine ground multicomponent cement, low water demand binder.

*Раздел 3.*Инженерное обеспечение

УДК 621.311

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ОБЪЕКТАХ БОЛЬШОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Филимонова А.А., Минибаев А.И., Филимонов А.Г.

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51
aachichirova@mail.ru

Аннотация. В современном мире внимание общественности нацелено на глобальные экологические проблемы, в том числе все больший интерес вызывает комплексный подход к решению проблемы сточных вод в масштабе всей электростанции. Основные составляющие комплексного подхода состоят в применении оборотного и многократном использования природной воды для максимально возможного сокращения ее потребления и объема образования сточных вод. С учетом значительных штрафов, которые станция платит за превышение установленных нормативов предельно допустимых сбросов по отдельным компонентам, включая характерные для сбросов сульфаты и хлориды, необходимо стремиться к созданию малосточных и бессточных систем водопользования ТЭС, используя наилучшие доступные технологии. В статье представлены результаты проведенного системного анализа структуры водопользования, определены источники образования и состава засоленных сточных вод установок и аппаратов водоподготовительных узлов и водооборотных подсистем Нижнекамской ТЭЦ (ПТК-1). На основании представленных данных предложены схемные решения по снижению сульфатов в сточных водах, сокращению объема сточных вод и выделению ценных химических реагентов из щелочных регенерационных и отмывочных растворов. Для реализации технологий регенерации предполагается использование новых решений по конструкции электромембранных модулей, способных перерабатывать высокоминерализованные жидкие отходы водоподготовительных установок предприятий большой энергетики и промышленных предприятий. Полученные в результате электромембранной обработки продукты возможно повторно использовать в технологическом цикле станции. Для энергетических предприятий России задача взаимоувязанной комплексной водоподготовки и переработки жидких отходов с выделением ценных химических компонентов и возвратом их в голову системы не ставится. В связи с этим задача разработки мембранных технологий и применения мембранных модулей в качестве «хвостовых» установок при создании замкнутых систем водооборота на энергетических предприятиях является новой и весьма актуальной.

Ключевые слова: тепловая электрическая станция, электромембранные технологии, электродиализное разделение, высокоминерализованные щелочные отходы.

ВВЕДЕНИЕ

Тепловые электрические станции являются одним из основных источников высокоминерализованных стоков, оказывающих негативное влияние на экологию водных систем региона. Минимизация сбросов сточных вод требует повышения коэффициента водооборота на станциях, что возможно при создании малоотходных или безотходных схем водопользования [1-3].

Технически возможно создание бессточной водоподготовительной установки (ВПУ), на которой из сточных вод выделяют ценные товарные продукты в твердом виде посредством обработки стоков на многоступенчатой испарительной установке. Однако такой способ утилизации экономически нецелесообразен. Поэтому перед исследователями стоит задача создания менее затратного замкнутого цикла водопользования на ТЭС. Это должно быть реализовано не только путем усовершенствования многих существующих технико-экономических решений по обработке воды различного состава, необходим также учет экономического влияния примесей технологических потоков, используемых реагентов и конкретные экономические и экологические оценки ущерба, причиняемого окружающей среде в результате сбросов, а также привлечение новых более современных технологий.

Ядром высокоминерализованных стоков на ТЭС выступают ВПУ, прежде всего установки ионитного обессоливания. Главным источником жидких высокоминерализованных отходов являются отработанные регенерационные растворы ионитных фильтров. Именно при ионитном обессоливании в технологическую схему ВПУ вводится основное количество Na^+ в виде NaOH и сульфатов в виде H_2SO_4.

В настоящее время на большинстве ТЭС кислые высокоминерализованные стоки с катионитовых фильтров и щелочные высокоминерализованные стоки с анионитовых фильтров ВПУ взаимно нейтрализуют и конечный высокоминерализованный сток сбрасывают.

Практикуемый в ряде стран способ утилизации высокоминерализованных стоков упариванием с захоронением твердых солей нельзя назвать удачными, так как при этом способе безвозвратно теряются все ценные химические компоненты стоков. Вариантом этого способа является раздельная утилизация регенерационных

растворов с ионитных фильтров в виде маломинерализованных и высокоминерализованных регенерационных вод. Маломинерализованные стоки предлагается возвращать в технологический цикл, а высокоминерализованные упаривать до увлажненных солевых остатков [4].

В рамках концепции малосточных и бессточных систем водопользования необходимо извлекать ценные компоненты из стоков с последующим полезным использованием их в цикле водооборота станции. Для этих целей наилучшим решением является применение «хвостовых» электромембранных установок. Электромембранные аппараты целевого назначения, установленные на стоках, создают возможность замкнуть весть регенеративный цикл ионообменной и баромембранной ВПУ. Это является принципиальный решением экономической и экологической задач. Электромембранные методы позволяют значительно сократить годовой объем сточных вод ВПУ и концентрацию ионов в стоках [5-7].

В данном контексте наибольший интерес представляет использование электродиализного концентрирования стоков до уровня, пригодного для повторного использования в цикле ТЭС. При этом особое внимание стоит уделить щелочным стокам ВПУ, поскольку они не содержат ионов жесткости, а сама щелочь – дорогостоящий реагент. Щелочные стоки можно подвергнуть регенерации на электромембранной установке с выделением и возвратом в рабочий цикл NaOH [8].

Эффективный способ регенерации кислот предлагается путем ионообменного извлечения их из отработанных растворов Н-фильтров с последующей утилизацией в системах оборотного охлаждения, теплосети (для стабилизационной обработки), в схеме регенерации Н-катионитных фильтров химобессоливания или ВПУ теплосети [9,10].

В последнее время технологии водоподготовки, основанные на ионном обмене, начинают уступать свои лидирующие позиции мембранным технологиям в связи с определенными преимуществами у последних. Являясь производителем обессоленной воды высокого качества, баромембранные ВПУ сбрасывают еще больший объем сточных вод. Объем концентрата обратноосмотической установки составляет 20% от производительности ВПУ и представляет собой высокоминерализованный щелочной отход, характеризующийся значением pH = 9,9 – 11,0.

Несмотря на относительную новизну баромембранных технологий в водоподготовке, в настоящее время предлагаются различные способы по снижению объема сточных вод [11] и различные схемы утилизации концентрата обратноосмотических установок [6, 12].

Вторым по значимости производителем сточных вод является система оборотного охлаждения, объемы которой сопоставимы с ВПУ. В последнее время многие станции осуществляют переход на использование продувочной воды системы оборотного охлаждения в качестве исходной на ВПУ, что значительно сокращает общий объем сточных вод. Эта технология осуществима при коэффициенте упаривания, не превышающем 1,5, в том случае, если солесодержание исходной воды не более 500 мг/л, и не более 1,2, если солесодержание выше этого значения [13].

Филиал ОАО «ТГК-16» – «Нижнекамская ТЭЦ (ПТК-1)» является самой крупной промышленно-отопительной ТЭЦ в Республике Татарстан. Установленная электрическая мощность – 880 МВт, Установленная тепловая мощность – 3 746 Гкал/ч. Обеспечивает электрической энергией и теплом г. Нижнекамск и регион, а также крупнейший в Европе комплекс химических и нефтехимических предприятий (ПАО «Нижнекамскнефтехим»). Нижнекамская ТЭЦ (ПТК-1) потребляет большое количество природной воды р. Кама 13 млн. т/год и сбрасывает 4,5 млн. т/год производственных засоленных сточных вод. При этом в сточных водах отмечается превышение ПДК по некоторым химическим компонентам. Нижнекамская ТЭЦ (ПТК-1) остро испытывает нехватку исходной природной воды, а огромный объем сточных вод оказывает ощутимую нагрузку на экологию региона. Сточные воды Нижнекамской ТЭЦ (ПТК-1) подаются на блочные очистные сооружения ПАО «Нижнекамскнефтехим», которые после очистки сбрасываются в природные водоемы. Очистка на блочных очистных сооружениях не обеспечивает сокращение высокой минерализации сточных вод. Следствием является повышение минерализации природных водоисточников (р. Кама), за что Нижнекамская ТЭЦ (ПТК-1) платит большие штрафы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014-2020 годы» нами проведен системный анализ структуры водопользования, определены источники образования и состава засоленных сточных вод установок и аппаратов водоподготовительных узлов и водооборотных подсистем Нижнекамской ТЭЦ (ПТК-1). Проведен анализ схем и оборудования обессоливающей установки химических цехов предприятий Индустриального партнера. Данная работа была проделана для оценки возможности создания и последующей разработки технологий замкнутых систем водопользования предприятия, в том числе с применением электромембранных модулей.

Для отработки предлагаемых технологий изготовлен лабораторный электромембранный стенд. На лабораторном электромембранном

стенде проведены теоретические и экспериментальные исследования массообменных процессов, протекающих при регенерации ионоселективных анионо- и катионообменных материалов высокоминерализованными растворами сложного состава. Разработаны математические модели и компьютерная программа для расчета физико-химических процессов, протекающих при регенерации.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Для актуализации проблемы водопользования был проведен анализ схем и существующего оборудования обессоливающих установок химических цехов филиала ОАО «ТГК-16» – «Нижнекамская ТЭЦ (ПТК-1)». Водоподготовка, состоящая из двух цехов химводоочистки с суммарной проектной выработкой химобессоленной воды более 3000 т/ч, делает Нижнекамскую ТЭЦ (ПТК-1) уникальным объектом отечественной энергетики. По этой причине предприятие оказывает интенсивное воздействие на окружающую среду, так как является крупнейшим потребителем природных ресурсов (речной воды и органического топлива), в связи с чем образует большое количество загрязняющих веществ с уходящими газами от котлов и минерализованными стоками от водоподготовительных установок. В этой же связи электростанция является крупным отходообразующим предприятием, главным образом за счет отходов, образующихся при подготовке добавочной воды для восполнения потерь, связанных с отпуском на производство значительных объемов технологического пара. Поэтому поиск путей решения вопросов экологической безопасности на электростанции всегда имел первостепенное значение.

В настоящее время исходная вода на химводоочистке ХВО-1 и ХВО-2 забирается из системы оборотного охлаждения.

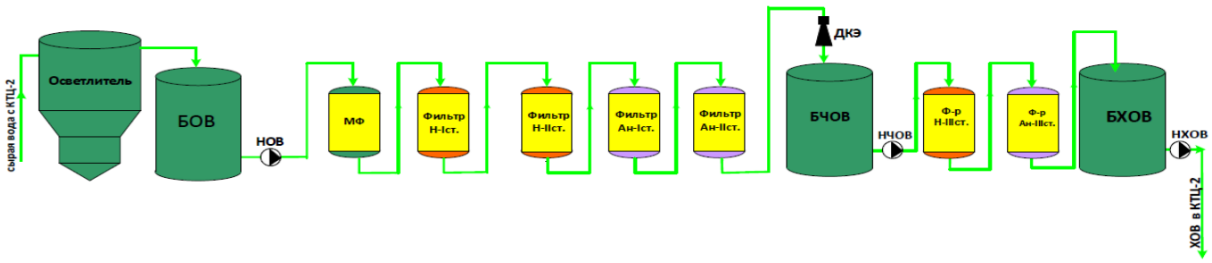


Рис.1. Принципиальная схема ХВО-1.

Fig. 1. Schematic diagram of chemical water purification № 1.

Исходная вода подается на ХВО-1 по трем трубопроводам (Рис. 1). В осветлителях вода проходит известкование и коагуляцию сернокислым железом. Приготовление обессоленной воды осуществляется по схеме двухступенчатого обессоливания, которая предусматривает последовательную обработку воды на Н-катионитовых и ОН-анионитовых фильтрах. Производительность обессоливающей установки 1500 м^3/час.

Исходной водой для ХВО-2 (Рис. 2) является циркуляционная вода из оборотной системы охлаждения турбин (СОО), а также возвращаемые воды с очистных сооружений. Речная вода проходит предварительную очистку в осветлителях по методу известкования с коагуляцией.

Установка состоит из четырех самостоятельных блоков. В состав I блока входит 8 Н-прот. фильтра, 4 Ан полуцепочки, установка обратного осмоса УОО-166, установка непрерывной электродеионизации ЭДИ №1,2. Производительность I и II блоков составляет 900 т/час, III, IV блоков – 550 т/ч.

.

Химическое обессоливание воды производится следующим образом: Н-катионирование I ступени, декарбонизация, ОН-анионирование I ступени, Н-катионирование II ступени, ОН – анионирование II ступени. Так же, параллельно после осветления на механических фильтрах, часть воды поступает на натрий-катионитовые фильтры, далее на установку обратного осмоса УОО-166 и на финишную доочистку на установку непрерывной электродеионизации ЭДИ №1,2.

При обработке воды в обессоливащей установке применяются следующие химреагенты: а) серная кислота для регенерации катионита в водород-катионитовых фильтрах; б) едкий натр – для регенерации анионитов в анионитовых фильтрах; в) соль поваренная – для регенерации катионита в фильтрах подпитки теплосети, для обработок высокоосновного анионита, для промывок модулей обратного осмоса и непрерывной электродеионизации

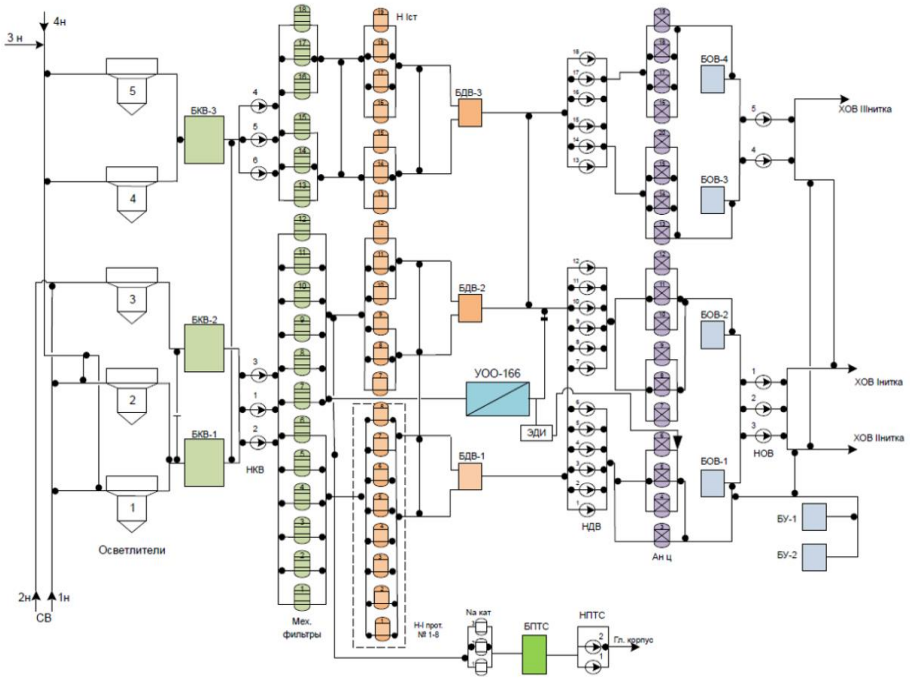


Рис. 2. Принципиальная схема ХВО-2.

Fig. 2. Schematic diagram of chemical water purification № 2.

Основные реагенты, используемые для обработки воды на станции – это сульфатсодержащие вещества – сульфат железа и серная кислота. Кроме того, сброс сульфатов со сточными представляет наибольшую проблему в связи со значительными штрафами, которые станция платит за превышение установленных нормативов предельно допустимых сбросов по отдельным компонентам, включая характерные для сбросов сульфаты. Поэтому балансу по сульфатам уделено особое внимание.

По результатам химического анализа и математического расчета водокомпонентного баланса сточных вод установок и аппаратов водоподготовительных узлов и водооборотных подсистем Нижнекамской ТЭЦ (ПТК-1) была составлена схема и сформулированы основные проблемы водопользования (Рис. 3).

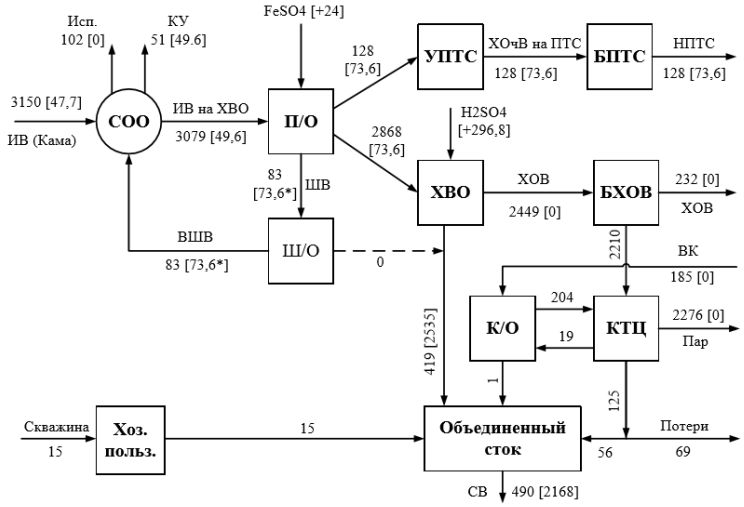


Рис 3. Водо-компонентный баланс Нижнекамской ТЭЦ (ПТК-1) на октябрь 2017 г. Цифрами без скобок указан расход воды, т/ч. В квадратных скобках указано содержание сульфатов, г/т основного потока. * – Примерное содержание, без расчета рецикла.

Fig. 3. Water-component balance of Nizhnekamsk TPP for October 2017. Figures without brackets indicate water flow, t / h. The square brackets indicate the sulfate content, g / t of the main stream. * – Exemplary content, without recalculation.

Основными проблемами водопользования на филиале ОАО «ТГК-16» – «Нижнекамская ТЭЦ (ПТК-1)» являются:

- Большой объем высокоминерализованных сточных вод с водоподготовительных установок ХВО-1 и 2 на Нижнекамской ТЭЦ (ПТК-1). В среднем их объем составляет 500 т/ч или до 25 % от производства химобессоленной воды ХОВ;

- Содержание сульфатов в сточных водах на Нижнекамской ТЭЦ (ПТК-1) сильно завышено и составляет порядка 2100 мг/л при нормативе 800 мг/л. За превышение сброса сульфатов со сточными водами Нижнекамской ТЭЦ (ПТК-1) выплачивает штрафы, составляющие более 100 млн. руб./год;

- Высокий удельный расход химических реагентов, в том числе серной кислоты, и натриевой щелочи на регенерацию;

- В последнее время возникла необходимость увеличения производства ХОВ на 370 т/ч. При этом на станции существует недостаток площадей и оборудования.

- Большой объем щелочных жидких отходов, являющихся перспективными для электромембранной переработки.

В связи с актуальностью выявленных проблем при комплексном анализе структуры водопользования основной целью является разработка технических решений по усовершенствованию ВПУ Нижнекамской ТЭЦ (ПТК-1).

В настоящее время исходная вода на ХВО-1 и ХВО-2 забирается из СОО. Вода в СОО за счет испарения в башенных градирнях частично концентрируется. Коэффициент упаривания (Ку) по данным за 2017 год в среднем составил 1,07, коэффициент концентрирования по сульфатам также равнялся 1,07. Это означает, что солесодержание в циркуляционной воде СОО и, соответственно, сырой воде поступающей на ХВО на 7% выше, чем в исходной воде реки Кама. Соответственно, на установках обессоливания расход реагентов (H_2SO_4 и NaOH) на 7% выше, чем было бы при питании непосредственно Камской водой, и содержание сульфатов в сточных водах ХВО-1 и ХВО-2 тоже на 7% повышено.

Кроме того, за счет испарения и удаления свободной угольной кислоты в башенных градирнях происходит подщелачивание (увеличение pH) циркуляционной воды. В результате, как показывают расчеты и результаты химического анализа, из циркуляционной воды в СОО происходит осаждение малорастворимых солей жесткости (Ca, Mg) в основном в виде $CaCO_3$ и силикатов в основном в виде $SiO_2 \cdot nH_2O \cdot mFe_2O_3 \cdot pMgO$, высокомолекулярных органических веществ (гумусовые вещества) в виде гуматов и фульватов. Объем отложений в СОО составляет десятки тонн в месяц. Отложения происходят в основном на поверхности трубок конденсаторов паровых турбин за счет повышенной температуры и на элементах (разбрызгивающие сопла, оросители) за счет испарения воды и местного концентрирования.

В связи с полученными результатами можно предложить для сокращения потребления реагентов на обработку воды при получении химически обессоленной воды и сокращения содержания сульфатов в стоках осуществить питание ХВО исходной водой из реки Кама, а не циркуляционной водой из СОО. В то же время при получении химически очищенной воды для подпитки теплосети не требуется полного удаления солей и не применяются реагенты – H_2SO_4 и NaOH, т.е., питание установки подпитки тепловой сети можно осуществлять продувочной водой СОО. Для предотвращения процессов образования отложений в конденсаторе турбин и башенных градирнях необходима стабилизационная обработка циркуляционной воды СОО.

Из полученных данных следует, что поступление сульфатов в воду Нижнекамской ТЭЦ (ПТК-1) почти на 80 % обеспечено за счет подачи серной кислоты на регенерацию Н-катионитных фильтров и на 86 % за счет реагентов (H_2SO_4 + $FeSO_4$). Выход сульфатов со станции на 99 % происходит со сточными водами. Для снижения содержания сульфатов можно произвести замену сульфатсодержащего коагулянта на хлорсодержащий. Поступление сульфатов в сточные воды с коагулянтом ($FeSO_4$) составляет 6,9 % от их общего количества. Следовательно, замена $FeSO_4$ на $FeCl_3$ позволит снизить содержание сульфатов в сточных водах примерно на 7%. Принцип действия обоих коагулянтов аналогичен – это гидролиз в щелочном растворе с образованием хлопьевидного осадка гидроксида железа.

Далее мы предлагаем схемы регенерации ионитных фильтров с сокращенными расходами реагентов и стоков. Суть технологий заключается в следующим: при регенерации предварительный перевод Н-катионита первой ступени в Na-форму, «развитая» регенерация анионитных фильтров первой ступени щелочной частью отработанных регенерационных растворов анионитных фильтров второй ступени и затем свежей щелочью, «развитая» регенерация катионитных фильтров первой ступени кислыми отработанными регенерационными растворами с катионитных фильтров второй ступени, регенерация слабоосновных анионитных фильтров первой ступени раствором извести.

С целью сокращения удельного расхода реагентов и воды на регенерацию фильтров мы предлагаем каскадную ступенчатую отмывку ионитных фильтров. При использовании каскада из 3-х аппаратов (аппарат – бак с насосом) возможно снижение удельного расхода воды на отмывку в несколько раз при сохранении качества отмывки. Каскадный метод отмывки фильтров позволит сократить удельный расход воды на отмывку примерно в 5 раз.

При совместной реализации технологий предварительной регенерация Н-катионита первой

ступени Na-солями и повторным использованием кислоты и щелочи с технологией ступенчатой (каскадной) отмывки ионитов возможно снижение удельного расхода серной кислоты почти до стехиометрического – 1,1 г-экв/г-экв. За счет этого количество сульфатов в стоках снижается на 50%, а в результате технологии ступенчатой промывки фильтров объем отмывочных вод снижается с 419 т/ч до 50 т/ч. Таким образом, возможно снижение расхода воды на собственные нужды и повышение производительности ХВО-1,2 на 350 т/ч.

В сточных водах ХВО-1,2 преобладают кислые компоненты. Для доведения pH стоков до норматива (pH = 6-9) необходима нейтрализация кислоты. В настоящее время для нейтрализации сточных вод используется известь (ХВО-1) или содосодержащие жидкие отходы ПАО «Нижнекамскнефтехим» (ХВО-2).

Шлам водоподготовки ХВО-1,2 Нижнекамской ТЭЦ (ПТК-1) состоит на 70% из $CaCO_3$, на 11% из $MgCO_3$ и на 3% из $Fe(OH)_3$. При нейтрализации кислых стоков шламом водоподготовки возможны следующие реакции:

$$H_2SO_4 + CaCO_3 = CaSO_4\downarrow + H_2O + CO_2\uparrow$$
$$H_2SO_4 + Mg(OH)_2 = MgSO_4\downarrow + 2H_2O$$

$Fe(OH)_3$ остается в нерастворимом состоянии.

В результате нейтрализации получается насыщенный раствор гипса ($CaSO_4$), содержащий дополнительно соли магния и натрия. Из раствора выделяется гипсовый шлам, который вывозится в качестве твердого отхода, а нейтрализованные сточные воды сбрасываются. Снижение сульфатов в сточных водах в результате данной технологии составляет 30%.

Основной экономический и экологический эффекты планируются от реализуемой в данном проекте технологии извлечения ценных химических компонентов из водных отходов теплоэнергетического комплекса Нижнекамской ТЭЦ (ПТК-1) с их последующей утилизацией. Главным условием, определяющим успешность предлагаемого решения, является отбор и последующая переработка концентрированных жидких отходов непосредственно с узлов и установок водопользования ТЭС. Стоки с начальных и промежуточных стадий технологической цепочки имеют высококонцентрированный, малокомпонентный состав, определенную характерную pH, что в совокупности дает возможность для их разделения на отдельные, подходящие для последующей утилизации компоненты. Таким образом, предполагается заниматься проблемой не «с конца», т.е. очищать сточные воды, имеющие, как известно, очень сложный многокомпонентный состав и большой объем воды, что экономически нецелесообразно, а, решать данную проблему, начиная с ее фундамента, используя системный анализ водного баланса производства и новые технологии водоподготовки.

Для реализации технологий предполагается использование новых решений по конструкции электромембранных модулей, способных перерабатывать высококонцентрированные неорганические отходы с узлов и установок комплекса предприятия большой энергетики.

Организация электромембранной переработки отходов непосредственно в узлах их образования позволит реализовать процесс извлечения щелочи. В то же время, получение кислоты в чистом виде затруднительно. Возможно получение только смеси кислот (серной, соляной и азотной), которая имеет невысокую стоимость. Дальнейшее их разделение представляется экономически нецелесообразным. Это ограничивает область применения кислотной смеси в технологическом цикле станции. Кроме того, в случае переработки кислых отходов ужесточаются требования к конструкционным материалам электромембранных аппаратов.

Была проведена серия опытов по электромембранной утилизации щелочных отработанных регенерационных растворов и промывочных вод анионитных фильтров II ступени. Образцы технологических растворов получены на Нижнекамской ТЭЦ (ПТК-1).

На основании полученных результатов по диффузионному разделению компонентов соле-щелочных растворов предложена технологическая схема выделения щелочи, включающая, по крайней мере, два аппарата – диффузионно-диализный экстрактор и электродиализный концентратор. Наличие второго аппарата обусловлено необходимостью получения концентрированного щелочного раствора, пригодного для использования в технологическом цикле ВПУ.

В результате электромембранной обработки по гидравлической схеме диффузионно-диализной экстракции и электродиализной концентрации образуется прозрачный щелочной раствор с pH 13,4 и концентрацией OH^- ионов, более чем в 10 раз превосходящей содержание их в исходном растворе. В полученном концентрате в допустимых пределах присутствуют нежелательные примеси (органические вещества, железо, силикаты). Однако, солевые компоненты – сульфаты и хлориды содержатся в нем уже в значимых количествах, хотя их наличие не мешает повторному использованию щелочного раствора в цикле ВПУ.

При необходимости, можно осуществить дополнительную очистку щелочного раствора электромембранным методом с мембранным пакетом включающим мембраны слабоосновного анионита. На выходе из которого образуется щелочной (pH 13,3) раствор с незначительным содержанием солевых компонентов.

Конструктивно диффузионно-диализный и электродиализный аппараты (общее название электромембранные аппараты) однотипны и представляют собой пакет, набираемый последовательным чередованием ионообменных

мембран и межмембранных прокладок с сепараторами-турбулизаторами потока. В зависимости от объема и состава жидких отходов, поступающих на обработку, возможна организация режимов поочередной работы аппаратов. При поступлении на обработку большого объема отходов целесообразно использовать схему с одновременной работой двух аппаратов. При наличии в полученном щелочном растворе компонентов, мешающих использованию его в технологическом цикле, можно осуществить дополнительную очистку с использованием третьей ступени обработки.

Получаемый концентрированный щелочной раствор (концентрат) имеет достаточно высокую чистоту и может использоваться в цикле станции для регенерации анионитных фильтров I ступени. Умягченный солевой раствор возможно подавать на подпитку теплосети.

В результате электромембранной переработки жидких высокоминерализованных щелочных отходов Нижнекамской ТЭЦ (ПТК-1) образуется в среднем 70 кг/ч 40 %-ного щелочного раствора.

Таким образом, в год количество получаемого щелочного раствора при непрерывной работе установки составит 613 тонн.

ВЫВОДЫ

Выполнен системный анализ структуры водопользования Нижнекамской ТЭЦ (ПТК-1). Определены источники и состав жидких минерализованных отходов.

Для сокращения потребления реагентов на обработку воды при получении химически обессоленной воды и сокращения содержания сульфатов в стоках необходимо осуществить питание химических обессоливающих установок исходной водой из реки Кама, а не циркуляционной водой из системы оборотного охлаждения. В то же время получение химически очищенной воды на подпитку тепловой сети можно осуществлять продувочной водой системы оборотного охлаждения.

Замена сульфатсодержащего коагулянта на хлорсодержащий на предочистке снижает содержание сульфатов в сточных водах на 7%.

Предложены схемы регенерации ионитных фильтров с сокращенными расходами реагентов и стоков, которые совместно с каскадной ступенчатой отмывкой ионитных фильтров приводят к уменьшению содержания сульфатов в стоках до 50% и объему отмывочных растворов до 50 т/ч. Данные мероприятия позволяют повысить производительность химических обессоливающих установок на 350 т/ч.

Нейтрализация кислых стоков шламом водоподготовки позволяет сократить содержание сульфатов в них на 30%.

Разработана технология переработки жидких щелочных отходов с получением чистого щелочного раствора, пригодного для дальнейшего использования в производственном цикле Нижнекамской ТЭЦ (ПТК-1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойко Н.И., Одарюк В.А., Сафонов А.В. Основные направления безотходных и малоотходных технологий // Технологии гражданской безопасности. 2015. Т. 12. № 1 (43). С. 68-72.

2. Мамет А.П., Таратута В.А., Юрчевский Е.Б. Принципы создания малоотходных водоподготовительных установок // Теплоэнергетика. 1992. № 7. С. 2-5.

3. Седлов А.С., Федосеев Б.С., Шищенко В.В. Современные технологии водоподготовки на ТЭС и их экологическая оценка // Современные природоохранные технологии в электроэнергетике: Информационный сборник. Москва, 2007. С. 126-148.

4. Ларин Б.М., Ерёмина Н.А., Будаева А.Ю. Технологические решения для утилизации регенерационных вод установки химического обессоливания добавочной воды на ТЭС // Международная научно-техническая конференция «Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии» (XVIII Бенардосовские чтения) (Иваново, 27-29 мая 2015 г.) : мат. докл. Иваново, 2015. В 4 т. Т 2 С. 92-95.

5. Римашевская Е.Д. Разработка малосточной ВПУ ТЭЦ // VI международная научно-техническая конференция «Электроэнергетика глазами молодежи» (Иваново, 9-13 ноября 2015 г.) : мат. докл. Иваново, 2015. В 2 т. Т 2. С. 358-363.

6. Малахов Г.И., Шищенко В.В., Боровкова И.И. Малоотходная технология подготовки добавочной воды в системы тепловодоснабжения // Новое в российской электроэнергетике. 2009. № 6. С. 45-51.

7. Кучерик Г.В., Омельчук Ю.А., Заблоцкая Е.В. Разработка ресурсосберегающих систем водопотребления в энергетике // Научно-практическая конференция с международным участием «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017» (Севастополь, 11-15 сентября 2017 г.) : мат. док. Севастополь, 2017. С. 750-752.

8. Chichirova N.D., Chichirov A.A., Lyapin A.I., Minibaev A.I., Silov I.Y., Tolmachev L.I. Electromembrane recycling of highly mineralized alkaline blowdown water from evaporative water treatment plants at thermal power stations // Thermal Engineering. 2016. Т. 63. № 14. С. 1046-1050. DOI: 10.1134/S0040601516140044

9. Малахов И.А., Космодамианский В.Е., Храмчихин А.М., Малахов Г.И. Утилизация кислотно-щелочных сточных вод установок химобессоливания на ТЭС // Теплоэнергетика. 2000. № 7. С. 15-19.

10. Веселовская Е.В., Луконина О.В., Шишло А.Г. Современные проблемы реконструкции водоподготовительных установок

теплоэнергетических предприятий // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2012. № 2 (166). С. 63-66.

11. Чичирова Н.Д., Чичиров А.А., Филимонова А.А., Саитов С.Р. Повышение экологических и эксплуатационных характеристик водоподготовительных установок ТЭС на основе баромембранных технологий // Теплоэнергетика. 2017. № 12. С. 67-77.

12. Юрчевский Е.Б., Солодянников В.В. Расчетно-экспериментальное обоснование схем утилизации концентрата, образующегося в цикле обратноосмотических обессоливающих установок // Теплоэнергетика. 2018. № 7. С. 92-98.

13. Моисейцев Ю.В., Шищенко В.В. Сокращение водопотребления и водоотведения на ТЭС // Теплоэнергетика. 2001. № 10. С. 71-75.

REFERENCES

1. Boiko N.I., Odaryuk V.A., Safonov A.V. The main directions of non-waste and low-waste technologies // Tekhnologii grazhdanskoi bezopasnosti. 2015. T. 12. № 1 (43). pp. 68-72. (In Russian).

2. Mamet A.P., Taratuta V.A., Yurchevskii E.B. Principles for the development of low-waste water treatment plants // Teploenergetika. 1992. № 7. pp. 2-5. (In Russian).

3. Sedlov A.S., Fedoseev B.S., Shishchenko V.V. Sovremennye tekhnologii vodopodgotovki na TES i ikh ekologicheskaya otsenka // Modern environmental technologies in the electric power industry: Information collection. Moscow, 2007. pp. 126-148. (In Russian).

4. Larin B.M., Eremina N.A., Budaeva A.Yu. Technological solutions for utilization of regenerative waters of a chemical desalination plant for additional water at TPPs. International Scientific and Technical Conference "Condition and Prospects for the Development of Electrical and Thermal Technology" (XVIII Benardos Readings). Ivanovo, 2015. In 4 vol. vol. 2, pp. 92-95. (In Russian).

5. Rimashevskaya E.D. Development of a low-power TPU of a CHP plant // VI International Scientific and Technical Conference "Electrical Power Through the Eyes of Youth". Ivanovo, 2015. In 2 vol. vol. 2, pp. 358-363. (In Russian).

6. Malakhov G.I., Shishchenko V.V., Borovkova I.I. Low-waste technology for the preparation of additional water in the systems of heat and water supply. 2009. № 6. pp. 45-51. (In Russian).

7. Kucherik G.V., Omel'chuk Yu.A., Zablotskaya E.V. Development of resource-saving water consumption systems in the energy sector. Scientific and Practical Conference with International Participation "Environmental, Industrial and Energy Security - 2017". Sevastopol, 2017. pp. 750-752. (In Russian).

8. Chichirova N.D., Chichirov A.A., Lyapin A.I., Minibaev A.I., Silov I.Y., Tolmachev L.I. Electromembrane recycling of highly mineralized alkaline blowdown water from evaporative water treatment plants at thermal power stations // Thermal Engineering. 2016. T. 63. № 14. C. 1046-1050. DOI: 10.1134/S0040601516140044

9. Malakhov I.A., Kosmodamianskii V.E., Khramchikhin A.M., Malakhov G.I. Utilization of acid-alkaline wastewater of chemical desalination plants at thermal power plants // Teploenergetika. 2000. № 7. pp. 15-19. (In Russian).

10. Veselovskaya E.V., Lukonina O.V., Shishlo A.G. Modern Problems of Reconstruction of Water Treatment Facilities of Heat Power Enterprises // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Seriya: Tekhnicheskie nauki. 2012. № 2 (166). pp. 63-66. (In Russian).

11. Chichirova N.D., Chichirov A.A., Filimonova A.A., Saitov S.R. Increase of ecological and operational characteristics of water treatment plants of thermal power plants based on baromembrane technologies // Teploenergetika. 2017. № 12. pp. 67-77. (In Russian).

12. Yurchevskii E.B., Solodyannikov V.V. Calculation-experimental substantiation of the schemes for utilization of the concentrate formed in the cycle of reverse-osmosis desalting plants // Teploenergetika. 2018. № 7. pp. 92-98. (In Russian).

13. Moiseitsev Yu.V., Shishchenko V.V. Reducing water consumption and sanitation at thermal power plants // Teploenergetika. 2001. № 10. pp. 71-75. (In Russian)

.

DEVELOPMENT OF ENERGY EFFICIENT RESOURCE-SAVING WATER USE SYSTEMS ON OBJECTS OF LARGE POWER ENGINEERING

Chichirov A.A, Chichirova N.D., Filimonova A.A., Minibaev A.I., Filimonov A.G.

Summary In the modern world, the public's attention is focused on global environmental problems, including an integrated approach to the sewage problem on a power plant scale solving. The main components of the integrated approach are the recycled and repeated use of natural water for the maximum possible reduction of its consumption and the wastewater generation volume. Given the significant fines that the station pays for the established limits for maximum permissible discharges for individual components exceeding, including characteristic for discharges sulphates and chlorides, it is necessary to create low-power and drainless water-use systems for thermal power plants using the best available technologies. The article presents the systemic analysis results of the water use structure, formation sources and saline wastewater composition from water treatment units installations and apparatuses and water-rotation subsystems of Nizhnekamsk TPP. On the basis of the presented data, schematic solutions for sulphate reduction in wastewater, wastewater volume reduction and valuable chemical reagents separation from alkaline regeneration and washing solutions are proposed. For the regeneration technologies implementation, it is proposed to use new solutions for the construction of electromembrane modules capable to manufacture highly mineralized liquid waste from water treatment plants of large power station and industrial enterprises. The resulting electromembrane processing products can be re-used in the station technological cycle. For energy enterprises of Russia, the task of interconnected complex water treatment and processing of liquid waste with the separation of valuable chemical components and their return to the system head is not put. In this regard, the task of developing membrane technologies and the use of membrane modules as "tail" installations in the creation of closed water circulation systems at power plants is new and very relevant.

Key words: thermal power station, electromembrane technologies, electrodialysis separation, highly mineralized alkaline waste.

УДК 621.3;65.01;338.47.654

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ФЕДЕРАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ

Новикова О.В , Мельниченко А.С., Лучникова А.Д.

ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

Аннотация. В данной статье рассматривается потенциальная возможность использования возобновляемых источников энергии при строительстве объектов транспортной инфраструктуры Федерального значения. В ходе исследования были проанализированы крупные перспективные проекты строительства автодорог и мостов на период до 2030 года, рассмотрена поэтапная схема энергоснабжения крупного объекта на примере Керченского моста, проведен анализ потенциальной возможности реализации проектов с использованием гибридных энергетических установок на основе возобновляемых источников энергии. Разработаны методические подходы к реализации крупномасштабных проектов, которые позволили бы учитывать показатели не только экономической эффективности, но все достигаемые положительные эффекты от реализации проекта в целом.

Ключевые слова: энергоснабжение, энерготехнологии, ВИЭ, альтернативная энергетика, транспортная инфраструктура, объекты федерального значения

ВВЕДЕНИЕ

В России и ряде зарубежных стран активно реализуются масштабные проекты с использованием разнообразных схем энергоснабжения. Статистика позволяет отметить наличие больших проблем по надежности и эффективности электроснабжения крупных транспортных проектов, включающих мосты.

В свете последних экономико-политических событий, у многих компаний, обслуживающих крупные объекты Федерального значения образовались задолженности, в связи с чем было инициировано отключение питания потребителей в соответствии со вторым пунктом Постановления Правительства РФ от 04.05.2012 N 442 (ред. от 26.07.2018) "О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии". Весной этого года "Дальневосточная энергетическая компания" (ДЭК) за долги "Тихоокеанской мостостроительной компании" (ТМК) в 3,8 миллиона рублей ограничила электроснабжение Золотого моста во Владивостоке и строящегося Нарвинского тоннеля в Хасанском районе Приморья [1]. Одним из самых проблемных регионов в Северо-Западном Федеральном Округе (СЗФО) в котором часто происходит отключение электроэнергии является Республика Карелия на примере которой можно обозначить еще одну существенную проблему, присущую многим регионам, особенно находящихся на территории Арктики. Линии в Республике достаточно часто являются тупиковыми, не закольцованными. Для того, чтобы обеспечить надежное энергоснабжение региона необходимо закольцевать данные линии, что является неоправданно дорого с плотностью населения 3,5 чел./кв.м.. В качестве альтернативы можно установить дизельные энергостанции, что, однако, тоже очень дорого.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В ходе проводимого исследования были изучены научные труды российских ученых в области возобновляемой энергетики - Э.Л. Акима, П.П. Безруких, В.В. Бушуева, В.И. Велькин, Горбунова Т.Ю., Т.С. Хачатурова, Ю.А. Цецерина, Беляева Ю.М., Серебрякова Р.А. Попеля О.С., Федорова М.П., Елистратова В.В и других.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Теоретической и методологической основой исследования являются работы отечественных и зарубежных учёных в сфере экономики природопользования, энергоэффективности и ресурсосбережения, устойчивого развития, стратегического управления. Также были использованы методические и нормативно-правовые литературные источники в сфере государственного регулирования энергоэффективным развитием социально-экономических систем. В основе методологии исследования лежат такие научные методы, как: сравнительный анализ, статистические и графические методы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) позволили бы перейти на принципиально новый уровень качественного и бесперебойного обеспечения электроэнергией крупных инфраструктурных объектов с учетом категорий надежности. Обеспечение крупных объектов социальной инфраструктуры электроэнергией (э\э), вырабатываемой на основе ВИЭ, может стать приоритетным направлением при реализации стратегии энергетического развития России на период до 2030 года [2].

Объектом исследования является эффективность обеспечения электроэнергией крупных транспортных инфраструктурных проектов.

Целью исследования является формирование методических подходов к энергоснабжению с использованием ВИЭ на объектах транспортной инфраструктуры.

Результатом исследования является сформированный методический подход к реализации крупномасштабных проектов электроснабжения транспортной инфраструктуры.

В современных инфраструктурных проектах особое значение имеет надежность и эффективность энергоснабжения. Эти показатели существенно зависят от наличия запаса мощности на территории планируемого размещения объекта. Согласно последним данным опубликованным информационным агентством РИА-Аналитика, основываясь на данных «Системного оператора Единой энергетической системы», из 74 регионов России 51 регион является энергодефицитным [3].

Самая большая стоимость э\э на территории России на данный момент в Дальневосточном и Сибирском федеральных округах. Основа производства э\э в субъектах данных федеральных округов – ископаемое топливо. При дефиците своих ресурсов, как правило, их завозят из Бурятии, Забайкальского Края и Кузбасса. Нефтепродукты также завозят из Восточной Сибири.

В целях устранения энергетических барьеров социально-экономического развития страны была разработана Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2020 года (далее – Концепция), которая включается в себя: бюджетную стратегию, энергетическую, транспортную и стратегии инновационного развития.

Согласно Транспортной стратегии характер и качество вызова, перед которым оказалась российская экономика обусловлена тремя факторами: усиление глобальной конкуренции, возрастание роли человеческого капитала в социально-экономическом развитии, исчерпание источников экспортно-сырьевого типа развития. Стратегия также предусматривает увеличение российской сети автодорог общего пользования. Согласно Федеральному Закону №257 от 08.11.2007 «Об автомобильный автодорогах» автомобильные дороги по значению и собственности распределяются по 4 основные категории: автомобильные дороги федерального значения; автомобильные дороги регионального или межмуниципального значения; автомобильные дороги местного значения; частные автомобильные дороги.

В рамках данного исследования были рассмотрены автомобильные дороги Федерального значения, а также мосты, строительство и ввод в эксплуатацию которых намечен до 2030 года [4]. Результаты аналитики представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Крупные проекты автомобильных дорог Федерального Значения до 2030 г.
Table 1. Major projects of highways of the Federal importance up to 2030.

№	Проект	Срок реализации	Инвестиции млрд.руб	Протяженность, км	Регион (Энергосистема)	Результат реализации
1	Магистраль «Центральная»	2024	7,4.	-	Самара, ПФО (ОДУ Средней Волги)	Диверсифицирует логистические потоки
2	Восточный Скоростной Диаметр	2023	250	14,7 (Мост)	Санкт – Петербург, СЗФО (ОДУ Северо-Запада)	Соединит ЗСД с КАД
3	Транспортное кольцо вокруг Нижнего Новгорода	2024	170	150 (3 Моста)	Нижний Новгород, ПФО (ОДУ Средней Волги)	Возможность осуществлять обход города
4	Дорога Сызрань – Самара	-	-	140 (3 Моста)	Самара, ПФО (ОДУ Средней Волги)	Появление замкнутой кольцевой структуры
5	Автомагистраль через Беренгов пролив	-	-	-	Чукотка, ДФО (ТИЭ)	Позволит соединить Евразию и Северную Америку

Продолжение таблицы 1
Continuation of table 1

6	Автодорога Муравленко-Надым			200	Надым, УФО (ОДУ Урала)	Позволит «срезать» до 200 км пути
7	«Обход» Тюмени	2025		100	Тюмень, УФО (ОДУ Урала)	Соединит три трассы
8	Автодорога Ачинск-Лесосибирск	-	-	250	Красноярск, СФО (ОДУ Сибири)	Решит задачи сокращения сроков доставки грузов в районы Крайнего Севера
9	Транспортное кольцо вокруг Ростова-на-Дону	2026	101		Ростов-на-Дону, ЮФО (ОДУ Юга)	Создаст полноценное транспортное кольцо
10	Скоростная магистраль Краснодар Кабординка			160	Краснодар, ЮФО (ОДУ Юга)	Снижение нагрузки на региональные дороги

Источник: составлено авторами по материалам [4]

Таблица 2. Крупные проекты мостов Федерального Значения до 2035 г.
Table 2. Major projects of bridges of the Federal significance up to 2035.

№	Проект	Срок реализации	Инвестиции млрд.руб	Протяженность км	Регион (Энергосистема)	Результат реализации
1	Сахалинский мост	2025	500		Сахалинская область, ДФО (ТИЭ*)	Доступ страны к незамерзающим портам
2	Автодорожный мост через Лену		38,9		Якутск, ДФО (ТИЭ)	Свяжет Якутск с федеральной трассой «Лена»
3	Мост в Подновье	2020	31	6,6	Нижний Новгород, ПФО (ОДУ Средней Волги)	Соединит трассу ФЗ М7 с региональной дорогой Р159
4	Мост через Обь		61.	2,5	Салехард, УФО (ОДУ Урала)	Крупный проект совмещенного моста
5	Центральный мост через Обь		26	7,9	Новосибирск, СФО (ОДУ Сибири)	Соединит правый и левый берег Новосибирска
6	Второй мост через Шексну в Череповце	2023	16, 6	3	Череповец, СЗФО (ОДУ Северо-Запада)	Соединит центральную часть города и Зашекснинский район
7	Переход через пролив Лаперуза		1 000	51	Сахалинская область, ДФО (ТИЭ)	Создание прямого сухопутного перехода между Японией и Россией

Источник: составлено авторами по материалам [4]

Дополнительная мощность должна быть запланирована с учетом требований перспективного развития энергосистемы, надежности, экономической и экологической эффективности всего проекта в целом

Таблица 3. Категорийность объектов Керченского моста
Table 3. Category of objects of the Kerch bridge

Наименование ЭП	Требуется два источника э/э. Полная, Sp	Требуется один источник э/э. Полная, Sp
	кВА	кВА
ТП-01	91,54	11,76
ТП-02	64,38	23,53
ТП-03	79,37	23,53
ТП-04	67,39	23,53
ТП-05	83,15	11,76
ТП-06	60,98	23,53
ТП-07	75,37	11,76
ТП-08	89,10	23,53
ТП-09	81,35	11,76
ТП-10	90,44	23,53
ТП-11	81,17	23,53
ТП-12	88,79	23,53
ТП-13	66,66	11,76
ТП-14	92,97	11,76

По этой причине целесообразно развивать в регионе возобновляемые источники энергии. В качестве примера успешного внедрения энергетических установок на основе ВИЭ можно привести мост австралийского города Брисбена - Kuripla Bridge [5]. Энергосбережение для работы осветительной установки осуществляется за счет использования солнечных батарей, размещенных непосредственно на элементах конструкции моста. В хорошую погоду от 75% до 100% электроэнергии, необходимой для работы световых приборов, воспроизводится солнечными батареями с суммарной дневной производительностью на уровне 100 кВтч.

Подобный подход можно применить и при строительстве объектов транспортной инфраструктуры, в том числе и мостов. Согласно карте ветроэнергетического потенциала, на рассматриваемых территориях в России скорость ветра в среднем составляет от 3 до 5 м/с и более, что является самым высоким показателем по стране [6]. В качестве альтернативы можно установить оффшорные ветрогенераторы. Например в Шотландии в рамках реализации программы по переходу на 100 процентное использование зеленой энергии были установлены оффшорные ветрогенераторы Hywind Scotland, высота которых составляет 253 метра, из них 78 метров над уровнем моря, вес удерживающих цепей, прикрепленных к морскому дну – 1200 тонн. Вся электрическая ферма генерирует до 30 мегаватт энергии.

В качестве примера рассмотрим Керченский мост.

Предварительным этапом проектирования является расчет уровня нагрузок. На данный момент Керченский мост работает по временной схеме энергоснабжения от ПС 110/10 кВ “Волна” (собственник – АО "Таманьнефтегаз") со стороны Тамани и ПС 110/10 кВ “Солнечная” (собственник – ГУП РК "Крымэнерго") со стороны г. Керчь, которая рассчитана до конца 2019 года, по окончанию мост переведут на постоянную. Для большинства масштабных проектов таких как транспортные развязки в Сочи, западный скоростной диаметр (ЗСД) в Санкт-Петербург, Стадион “Санкт-Петербург” и транспортный переход через Керченский пролив можно выделить 3 этапа реализации (без учета ПИР): Период строительства объекта, тестовая эксплуатация объекта с дальнейшей достройкой, полный ввод в эксплуатацию объекта.

1 - Этап строительства: включает в себя строительство необходимой инфраструктуры, такой как: жилые помещения, подъездные дороги, площадки строительства, склады, электрификации площадок строительства и прочие необходимые инфраструктурные объекты. Этап характеризуется наибольшим потреблением э/э (≈300% от потребления на 3 этапе(проектного)). В большинстве случаев требуемая надежность электроприемников не выше 3 категории [7].

На период строительства Керченского моста был выбран вариант с подключением к магистральным сетям и установкой ДГУ у потребителей (для 1 и 2 категории.). А именно строительство ПС 110/35/10, 2х ПС 35/10, КТП 10 кВ, ВЛ 110 кВ, КВЛ 35 кВ, КЛ 10 кВ. Структуру потребления э/э первого этапа см. таблицу 4.1.

Таблица 4.1. Основные потребители электроэнергии на первом этапе
Table 4.1. The main consumers of electricity at the first stage

Наименования группы потребителей	Категория электроприемников	Доля потребления
Щиты механизации (электроинструмент)	3	30%
Промышленные сварочные аппараты	3	30%
Питание бытовок строителей (в т.ч городок строителей)	3	15%
Наружное освещение	3	7,5%
Электрические тали	3	5%
Другие (ЛОС, судовая и аэронавигационная сигнализация)	1,3	12,5%
Общее потребление на даннном этапе		≈18,5 МВА

2 - Этап ввода в тестовую эксплуатацию предполагает введение объекта в частичную эксплуатацию. Этап характеризуется сходным с 1 этапом потреблением э/э (≈150-300%), т.к. часть строительных работ уже завершены потребление э/э стройки уменьшается, но появляются электрические нагрузки объекта.

В большинстве случаев требуемая надежность электроприемников - 1 и 2 категории. Для питания электропотребителей 1 особой категории, как правило устанавливаются ДГУ с автозапуском или ИБП (источник бесперебойного питания) индивидуально или на группу потребителей.

Для Керченского моста можно выделить два подэтапа: Ввод тестовую эксплуатацию АД моста (2018 г.), Ввод тестовую эксплуатацию ЖД моста (2019 г.). Нагрузки сведены в таблицы 4.2.1 и 4.2.2. Так же в таблицу 3 сведена необходимость второго источника э/э потребителей АД моста

Таблица 4.2.1. Потребители э/э в период тестовой эксплуатации АД моста
Table 4.2.1. Consumers of electric power during the test operation of the AM bridge

Наименования группы потребителей	Категория электроприемников	Доля потребления
Потребление строительства		≈14 МВА
Потребители э/э АД моста (проектное потребление э/э)		
АСУДД	1	5%
Наружное освещение	2	30%
СМИК	1	5%
Техническая система транспортной безопасности	2	15%
Производственная база	1,2,3	30%
Другие (архитектурное освещение арки, судовая и аэронавигационная сигнализация)	1,3	10%
Итого по АД		≈ 3 МВА
Общее потребление на даннном этапе		≈ 17 МВА

Таблица 4.2.2. Потребители э/э на этапе ввода в тестовую эксплуатацию с ЖД (≈2019 год)
Table 4.2.2. Consumers of electric power at the stage of putting into test operation with railway (≈2019 year)

Наименования группы потребителей	Категория электроприемников	Доля потребления
Потребление строительства		≈ 6 МВА
Потребление по АД мосту (проектное потребление)		≈ 3 МВА
Потребители ЖД (проектное потребление э/э)		
Освещения моста	1	7,5%
РШ	1	5%
КТСМ	1	5%
Техническая система транспортной безопасности	1	40%
СМИК	1	7,5%
Токоотборные точки	3	15%
Другие (ЛОС, пункты обогрева)	3	20%
Итого по ЖД		≈ 2,8 МВА
Общее потребление на даннном этапе		≈ 11,8 МВА

3 - Этап ввода в эксплуатацию характеризуется проектным потреблением э/э. В большинстве случаев требуемая надежность электроприемников 1 и 3 категории. Для Керченского моста нагрузки сведены в таблицу 4.3.

Таблица 4.3. Потребители э/э на период эксплуатации (≈2020 год)
Table 4.3. Consumers of electric power for the period of operation (≈2020 year)

Наименования группы потребителей	Категория электроприемников	Доля потребления
Потребители АД		
АСУДД	1	5%
Наружное освещение	2	30%
СМИК	1	5%
Техническая система транспортной безопасности	2	15%
Производственная база	1,2,3	30%
Другие (ЛОС, архитектурное освещение арки, судовая и аэронавигационная сигнализация)	1,2,3	10%
Итого по АД		≈ 3 МВА

Продолжение табл.4.3.
Continuation of table 4.3.

Наименования группы потребителей	Категория электроприемников	Доля потребления
Потребители ЖД		
Освещения моста	1	7,5%
РШ	1	5%
КТСМ	1	5%
Техническая система транспортной безопасности	1	40%
СМИК	1	7,5%
Токоотборные точки	3	15%
Другие (ЛОС, пункты обогрева)	3	20%
Итого по ЖД		≈ 2,8 МВА
Общее потребление		≈ 5,8 МВА

Варианты электроснабжения: При проектировании электроснабжении необходимо рассчитать электрические нагрузки на все 3 этапа. Далее необходимо выбрать не менее 2ух источников э/э. Возможное комбинирование источников э/э указано в таблице 5.

Таблица 5. Комбинирование источников э/э для обеспечения 1 и 2 категории
Table 5. Combination of power sources to provide 1 and 2 categories

	Магистральные или региональные сети	ВИЭ	Традиционная генерация	ДГУ или ИБП
Магистральные или региональные сети	+	+	+	+
ВИЭ	+		+	+
Традиционная генерация	+	+	+	+

Классический метод (“Магистральные или региональные сети” – “Магистральные или региональные сети”). Использование подключения к магистральным или региональным сетям зачастую невозможно или затруднено в виду: отсутствия свободных мощностей, точек присоединения или выдачи ТУ только на 3 категорию надежности.

Поэтому целесообразно рассматривать следующие варианты:

- альтернативная энергетика с магистральными или региональными сетями;
- альтернативная энергетика с собственной генерацией;
- альтернативная энергетика с ДГУ и ИБП.

Наиболее выигрышным вариантом выглядит использование альтернативной энергетики с магистральными или региональными сетями

Альтернативная энергетика на основе ВИЭ позволили бы обеспечить э\э объекты, относящихся к 3 категории электроприемника согласно ПУЭ 7 изд., а также частично обеспечивать э\э на ранних стадиях строительства. Данный подход позволит сэкономить затраты на всех трех этапах. Целесообразно строить генерацию из расчета полной мощности на период эксплуатации. Тем самым мы минимизируем затраты, а именно уменьшим потребление э/э от внешних сетей и уменьшим стоимость подключения к внешним электрическим сетям (т.к будет запрошены ТУ не на 1 или 2 категорию надежности, а 3ю категорию). Предлагаемая структура потребления указана в таблице 6.

Таблица 6. Структура потребления при использовании источников ВИЭ и внешних сетей
Table 6. The structure of consumption using sources of RES and external networks

	Потребление от источников ВИЭ	Потребление от внешних сетей
Строительства	30-40%	60-70% + резервирование потребителей 1 и 2 категории
Тестовая эксплуатация	До 75%	25-50% + резервирование потребителей 1 и 2 категории
Эксплуатация	100%	Только резервирование потребителей 1 и 2 категории

На данный момент существует три основных типа проектов с использованием энергетических установок на основе ВИЭ: комбинированное соединение с шиной переменного тока AC, комбинированное соединение с шиной постоянного тока DC и комбинированное смешанное соединение AC/DC. Каждый тип соединения рассматривается с расчётом эффективности потребляемой мощности от каждого источника питания, непосредственно или через аккумуляторную батарею, для сравнения различных вариантов комбинированных схем

электроснабжения и повышения эффективности, вследствие чего делаются выводы об эффективности энергоустановки, а также о ее преимуществах в сравнении с традиционными источниками энергоснабжения.

Для обнаружения потенциала комбинированного использования ВИЭ, необходимо определить ресурсы солнечной и ветровой энергии, конфигурацию энергогенерирующей системы и рабочий процесс, который определяет, как те или иные узлы будут работать вместе в конкретной ситуации в течение длительного периода времени.

Для питания Керченского моста наиболее целесообразно было применить ВИЭ в паре с магистральными или региональными сетями. Годовой удельный валовый потенциал энергии ветра Республики Крым составляет от 2490 до 3820 МВт·ч/год [7].

На период строительства необходимо было выполнить установку 7 ветрогенераторов мощностью 1 МВт на косе или острове Тузла. И подключения одной линии 110 кВ от ПС Волна со строительством ПС 110/20 кВ и распредсети 20 кВ (учитывая электрические нагрузки и длину объекта следует отказаться от напряжения 10 и 35 кВ в пользу 20 кВ). Так на период эксплуатации в основе использовалась энергия ветрогенераторов, а в резерве была мощность от ПС на период строительства. Структура потребления на примере Керченского моста см. таблицу 7.

Таблица 7. Структура потребления на примере Керченского моста
Table 7. Structure of consumption by the example of the Kerch bridge

	Потребление от источников ВИЭ	Потребление от внешних сетей
Строительства	37,8	62,2% + резервирование потребителей 1 и 2 категории
Тестовая эксплуатация АД моста	41,1%	58,9% + резервирование потребителей 1 и 2 категории
Тестовая эксплуатация, с достройкой	59,3%	49,7% + резервирование потребителей 1 и 2 категории
Эксплуатация	100%	Только резервирование потребителей 1 и 2 категории

Несмотря на длительный срок окупаемости ВИЭ, существует ряд преимуществ КЭУ: неисчерпаемость ВИЭ, возможность использования КЭУ в технически-изолированных регионах, снижение стоимости электроэнергии, снижение потерь в сети, экологичность, способствование развитию смежных отраслей экономики.

ВЫВОДЫ

Авторами был разработан методический подход к реализации подобных крупномасштабных социально-значимых объектов как Керченский мост, с целью повышения привлекательности использования технологий КЭУ, представленный в таблице 8.

Таблица 8. Методический подход к реализации крупномасштабных проектов
Table 8. Methodological approach to the implementation of large-scale projects

Этап	Описание этапа	Достигаемый эффект
Предварительная оценка потенциала ВИЭ региона	Проведение гидрометеорологических исследований, оценка точечного потенциала ВИЭ	Привлечение к работе НИИ, создание новых направлений обучения, создание новых рабочих мест
Анализ отраслевой структуры региона и разработка программ развития ВИЭ в регионе	Оценка эффективности стратегий и энергетической политики, внедрение ВИЭ при реализации крупномасштабных региональных проектов	Развитие регионального законодательства в сфере ВИЭ; Разработка моделей, методов и алгоритмов системы поддержки развития ВИЭ в регионе
Реализация региональных проектов с использованием ВИЭ	Выбор вариантов КЭУ и реализация проектов с использованием ВИЭ, отпуск электроэнергии в сеть, покрытие энергодефицита (если регион входит в состав ЕЭС России)	Повышение надежности энергосистемы, удовлетворения спроса на электроэнергию, снижение стоимости кВтч (особенно в энергоизолированных регионах) Развитие сопутствующих отраслей, разработка принципиально новых электроэнергетических установок, систем связи и мониторинга

Экономическая эффективность реализации проектов КЭУ на основе ВИЭ не должна рассматриваться отдельно, а должна рассматриваться в рамках разработанного по конкретному региональному проекту методического подхода, поскольку данный подход дает объективное представление о целесообразности реализации рассматриваемого проекта с использованием ВИЭ и дает понимание о достигаемых положительных эффектах как для региона, так и для страны в целом.

Дополнительный социально значимый эффект при таком подходе заключается в активизации научно-исследовательской деятельности, особенно в локальных зонах, приближенных территориально к проектам. Такими центрами исследований могли бы стать университеты, которые смогут разрабатывать и проводить непосредственные измерения на стадии предпроектного проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золотой мост и Нарвинский тоннель в Приморье обесточены за долги — URL: https: https://ria.ru/economy/20150317/1052910180.html (дата обращения: 20.07.2018)

2. Московская школа управления Сколково Использование потенциала распределенной энергетики для развития электроэнергетики России — URL: https: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/News/SKOLKOVO_EneC_2017.11.01_Khokhlov.pdf (дата обращения: 15.07.2018)

3. Рейтинг регионов по уровню энергодостаточности – итоги 2017 — URL: https: http://vid1.rian.ru/ig/ratings/energodeficit012018.pdf (дата обращения: 16.07.2018)

4. Крупные российские проекты— URL: https: https://ruxpert.ru/ (дата обращения:17.07.2018)

5. Kurilpa Bridge Case Study — URL: https: https://tuxdoc.com/download/kurilpa-bridge-case-study_pdf (дата обращения: 20.07.2018)

6. Основные показатели климата Крыма — URL: https: http://poluostrov-krym.com/ (дата обращения: 20.07.2018)

7. Горбунова Т.Ю. «Изученность потенциала ветровой энергетики крымского полуострова» — URL: https: http://geo.asu.edu.ru/files/3(66)/147-161.pdf (дата обращения: 20.07.2018)

8. Правила устройства электроустановок: 7-е издание (ПУЭ)/ Главгосэнергонадзор России — URL: https://www.elec.ru/library/direction/pue.html (дата обращения: 20.07.2018)

9. В. Я. Фролов, А. В. Коротков «О повышении точности определения нормативных потерь электроэнергии и структуры фактических потерь» / Научно-технические ведомости СПбГПУ СПб. 2012 № 1 (142) : Наука и образование С. 41-44

10. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. СПб, Изд-во Политехнического университета, 2016, - 417 с.

11. Apergis N., Payne J. E. (2010) Renewable energy consumption and economic growth evidence from a panel of OECD countries // Energy Policy. Vol. 38. Iss. 1. P. 656–660.

12. Global Trends in Renewable Energy Investment 2015. Bloomberg New Energy Finance [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://fs-unep-centre.org/publications/global-trends-renewable-energy-investment-2015

REFERENCES

1. The Golden Bridge and the Narva Tunnel in Primorye are de-energized for debts - URL: https: https://ria.ru/economy/20150317/1052910180.html (reference date: July 20, 2013)

2. Moscow School of Management Skolkovo Using the Distributed Energy Potential for the Development of the Electric Power Industry of Russia - URL: https: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/News/SKOLKOVO_EneC_2017.11.01_Khokhlov.pdf (date of circulation: July 15, 2013)

3. Rating of regions by level of energy sufficiency - totals 2017 - URL: https: http://vid1.rian.ru/ig/ratings/energodeficit012018.pdf (circulation date: July 16, 2013)

4. Large Russian projects- URL: https: https://ruxpert.ru/ (reference date: July 17, 2013)

5. Kurilpa Bridge Case Study - URL: https: https://tuxdoc.com/download/kurilpa-bridge-case-study_pdf (reference date: July 20, 2013)

6. Key Climate Indicators in the Crimea - URL: https: http://poluostrov-krym.com/

(date of circulation: July 20, 2013)

7. Gorbunova T.Yu. "The study of the potential of the wind energy of the Crimean peninsula" - URL: https: http://geo.asu.edu.ru/files/3(66)/147-161.pdf (reference date: July 20, 2013)

8. Electrical installation rules: 7th edition (PUE) / Glavgosenergonadzor of Russia - URL: https://www.elec.ru/library/direction/pue.html (reference date: July 20, 2013)

9. V. Ya. Frolov, A. V. Korotkov "On increasing the accuracy of determining the standard energy losses and the structure of actual losses" / Scientific and technical statements SPbSPU SPb. 2012 No. 1 (142): Science and Education C. 41-44

10. Elistratov, V.V. Renewable energy. SPb, Publishing house of Polytechnic University, 2016, - 417 p.

11. Apergis N., Payne J. E. (2010) Renewable energy consumption and economic growth evidence from a panel of OECD countries // Energy Policy. Vol. 38. Iss. 1. P. 656-660.

12. Global Trends in Renewable Energy Investment 2015. Bloomberg New Energy Finance - Access mode: http://fs-unep-centre.org/publications/global-trends-renewable-energy-investment-2015

METHODICAL APPROACHES TO ENERGY SUPPLY ON USE OF RENEWABLE SOURCES OF ENERGY ON OBJECTS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE OF FEDERAL VALUE

Novikova O.V., Melnichenko A.S., Luchnikova A.D.

Summary: In this article are considered the potential possibility of using renewable energy sources for the construction of transport infrastructure facilities of the Federal Values. In this article were analyzed major promising projects for the construction of roads and bridges for the period until 2030 year, was considered a step-by-step scheme for energy supply of a large facility, using the example of the Kerch bridge, was made an analysis of the potential using hybrid power plants based on renewable energy sources for the implementation of projects. Were developed methodological approaches to the implementation of large-scale projects that would allow to take into account in the project implementation indicators of not only economic efficiency, but all the positive effects that can be achieved from the project.

Key words: energy supply, energy technologies, RES, alternative energy, transport infrastructure, objects of federal significance

УДК 696.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ УСТАНОВОК СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРИРОДООХРАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Белоокая Н.В., Попов В. С., Попова Е.М., Толстой В.М., Толстой М.Ю.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, e-mail: tolstoi@istu.edu, bnv60@rambler.ru

Аннотация: Приведены результаты исследований и разработок комбинированной передвижной установки для систем жизнеобеспечения с применением энергосберегающих технологий на основе солнечных коллекторов. На основании проведенных исследований предложена комбинированная передвижная установка, работающая на возобновляемых источниках энергии.

Ключевые слова: мобильная установка, солнечный коллектор, возобновляемые источники энергии

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день одной из наиболее актуальных стратегических проблем в мире и в нашей стране является неэффективное потребление топливно-энергетических ресурсов. Данная проблема с каждым годом становится все более напряженным. Для решения данной проблемы существует множество мероприятий по энергосбережению.

Практически все сферы энергосбережения, относятся непосредственно к ЖКХ. По-другому и быть не может, поскольку ЖКХ напрямую обеспечивает жизнедеятельность жилищной сферы, которая составляет треть национального имущества и обеспечивает деятельность значительной доли остального имущества (промышленных предприятий, сферы услуг, объектов бюджетной сферы). Энергоемкость коммунальных услуг в России в 3–4 раза превосходит аналогичные показатели стран со сходным климатом. Более 80% стоимости услуг ЖКХ — это поставка электрической энергии, тепла, газа, горячей и холодной воды.

Сектор отличается высоким износом инфраструктуры и зачастую уровнем технологий середины прошлого века. Степень износа объектов коммунальной инфраструктуры в среднем в ЖКХ составляет 60%. Поэтому одной из ключевых предпосылок для снижения себестоимости коммунальных услуг и энергоемкости ЖКХ является массовое использование новых технологий.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Возможностей для внедрения инновационных решений в ЖКХ действительно очень и очень много: нужны как базовые решения — например, по изоляции теплотрасс и зданий, так и более прорывные технологии «будущего» — например, использование мобильных энергетических контейнеров [1-8].

Энергетический контейнер (далее - ЭК), предназначенный для создания комфортных условий работы и отдыха людей на объектах, не имеющих или с выведенными из строя централизованными системами электро-, тепло-, холодоснабжения, в условиях чрезвычайных ситуаций или разовых плановых мероприятий.

ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКТОРСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

Задача ЭК состоит в обеспечении длительной безаварийной эксплуатации комплекса в условиях удаленности потребителей от развитых инфраструктур, а также при сложных климатических условиях от -50°С до +50°С. Поставленная задача достигается благодаря использованию мобильного (установленного на шасси грузового автомобиля или прицепа) одного контейнера, внутри которого размещены системы технических средств жизнеобеспечения комплекса. ЭК управляется одним оператором посредством стационарного или дистанционного пульта управления. ЭК готов к эксплуатации в круглосуточном режиме и не требует много времени для выхода на рабочий режим.

Устройство ЭК:

Жидкостный теплообменник, котел-утилизатор выхлопных газов, две высокотемпературные заслонки, регулирующая арматура и управляющая автоматика, терморегуляторы, трубопроводная арматура.

Рис. 1. Устройство ЭК

Fig. 1. EC device

ЭК создает комфортные условия работы и отдыха людей на объектах, не имеющих или с выведенными из строя централизованными системами электро-тепло-холодоснабжения, в условиях чрезвычайных ситуаций или разовых плановых мероприятий. Установка не требует много времени для выхода в рабочий режим и очень удобна в эксплуатации. Отдельные редко используемые элементы оборудования располагаются в легкодоступных местах. Контейнер достаточно компактен, поэтому может размещаться на шасси грузового автомобиля или прицепа для транспортировки. Он готов к использованию в круглосуточном режиме. Управление оборудованием осуществляется одним оператором посредством стационарного или дистанционного пульта.

ЭК уникален тем, что в нем установлен высокопроизводительный чиллер воздух/воздух, представляющий из себя обычный кондиционер и тепловой насос в одном модуле. Чиллер потребляет до 25 кВт электроэнергии при этом имеет холодопроизводительность и теплопроизводительность до 60 кВт в зависимости от температуры окружающей среды. При включении системы отопления с радиатором горячей воды теплопроизводительность энергетического контейнера увеличивается до 180 кВт.

ЭК может быть изготовлен под заданные заказчиком характеристики – с дизель-генераторами требуемой мощности, различными емкостями топливных баков и другими опциями, такими как:

- солнечные батареи;
- ветрогенератор;
- система очистки воды.

Рассмотрим ЭК на базе солнечных батарей (рисунок 2) который объединяет в себе одни из самых необходимых нам вещей: автономный источник электричества, работающий от энергии солнца и очистная установка для получения чистой питьевой воды.

И все в одном, легко транспортируемом грузовом ЭК. ЭК – это полностью автономная солнечная электростанция, занимающая объем одного грузового контейнера, которая может быть доставлена по воздуху, морем, железной дорогой или просто по автомобильной дороге в любую точку мира, где она будет необходима.

ЭК использует фотоэлектрические солнечные панели высокой мощности, которые выезжают из его корпуса, и работают совместно с легкой в установке и запуске ветряной турбиной. Сгенерированная энергия хранится во встроенных в генератор батареях».

Рис. 2. ЭК на базе солнечных батарей

Fig. 2. EC based on solar panels

Установка спроектирована таким образом, чтобы помещаться в стандартные грузовые контейнеры и может быть произведена в трех вариантах в соответствии с размерами контейнеров по стандарту ISO – 10, 20 и 40 футов длиной при одинаковой ширине (10 футов – чуть больше 3 метров).

Часть солнечных панелей расположена на верхней части установки, занимая практически всю ее площадь. Но как только установка доставлена на место, дополнительный массив солнечных панелей выдвигается из своих защитных ниш, увеличивая общую полезную площадь в три раза и повышая на 400 процентов количество генерируемой энергии. После разворачивания генератора электричество можно получить сразу с выходной мощностью до 15 кВт.

Кроме солнечных панелей, генератор имеет много других встроенных опций – коммуникационные системы и систему очистки и распределения питьевой воды. Эти системы могут предоставлять доступ в интернет на расстояние до 50 километров, спутниковую связь и чистую питьевую воду. Установка может обеспечивать энергией внешние объекты, такие как госпитали или школы.

ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Запатентованный дизайн рассчитан на разнообразные области применения, включая поддержку гуманитарных миссий или спасательных операций при, например, катаклизмах, военные операции и производство электричества в отдаленных районах.

Как только установка развернута и готова к использованию вокруг нее появляется большая площадь, защищенная от прямых солнечных лучей, на которой можно организовать временные классы для учеников или места для отдыха. В случае резкого изменения погодных условий, например, при грозе, граде или очень сильном ветре, установка может быть сложена за считанные секунды. Управление и отслеживание состояния генератора может происходить удаленно.

Энергетический контейнер сочетает в себе множество параметров возобновляемых источников энергии, которые можно использовать в труднодоступных местах. Работает при отсутствии или при выведении из строя (плановый или аварийный ремонты, наладочные мероприятия, форс-мажорные ситуации) централизованных систем электро-тепло-холодоснабжения, с целью создания комфортных условий работы и отдыха там, где для проживания человека нет каких - либо условий, привычных каждому в XXI веке.

ЭК может применяться в различных сферах и для разных целей, например, в сфере жилищно-коммунального хозяйства; в местах действий техногенного характера, в военных целях.

В сфере жилищно-коммунального хозяйства

Один энергетический контейнер способен вырабатывать от 15 до 300 кВт., электроэнергии. При возникновении аварийной ситуации или проведении планово-ремонтных работ на сетях инженерных коммуникаций позволит обеспечить объекты соцкультбыта (детские сады, школы, больницы и т.д.) электричеством для освещения, отоплением, работы средств связи, оборудования и инструментов, охранной и пожарной сигнализации.

Также в труднодоступных местах позволит использовать электричество для работы специалистов и техники для устранения аварийных ситуаций на сетях инженерных коммуникаций. В

зимний период времени обеспечит подачу теплого воздуха в места устранения аварийных ситуаций.

При действиях техногенного характера

Возможность максимально быстрой и простой установки энергетического контейнера позволит обеспечить районы, пострадавшие от действий техногенного характера водой питьевого качества и электричеством.

В случае развертывания временных городков палаточного типа, в зимнее время обеспечит теплоснабжением, в летнее время холодным и чистым воздухом.

Также возможно устройство временного госпиталя на базе энергетического контейнера в местах действия техногенного характера для оказания медицинской помощи.

В военных целях

Доставленный по средствам авиации энергетический контейнер позволит оперативно развертывать штабы по управлению всеми видами войск обеспечивая их необходимыми инженерными коммуникациями в том числе и средствами связи.

Энергетические контейнеры устанавливаются в местах установки радиомачт в изолированных местах, для обеспечения сети мобильной связи.

Мы можем сделать вывод, что энергетические контейнеры – экологически чистый и не вредящий экосистеме продукт цивилизации, что уже само по себе редкая ценность. Задача энергетического контейнера состоит в обеспечении длительной безаварийной эксплуатации комплекса в условиях удаленности потребителей от развитых инфраструктур, а также при сложных климатических условиях от -50°С до +50°С с которой он справляется в полном объеме.

Поставленная задача достигается благодаря использованию высокоэффективного, мобильного (установленного на шасси грузового автомобиля или прицепа) одного контейнера, внутри которого размещены системы технических средств жизнеобеспечения комплекса. Установка управляется одним оператором посредством стационарного или дистанционного пульта управления. Энергетический контейнер готов к эксплуатации в круглосуточном режиме и не требует много времени для выхода на рабочий режим.

Авторами предлагается использовать разработки Иркутского национального исследовательского технического университета [9]. Источник энергии изображен на рисунке 3.

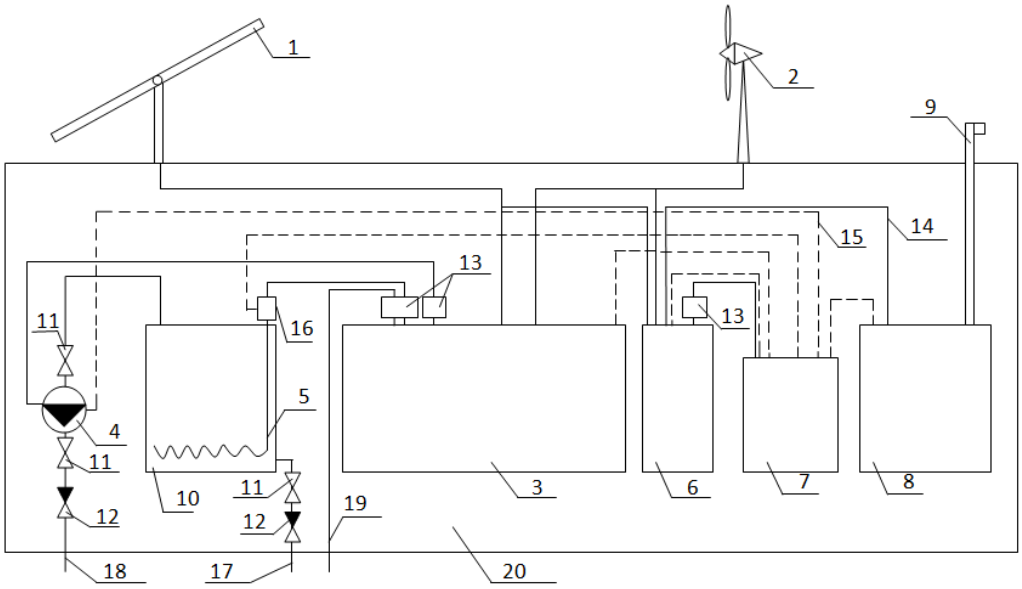


Рис. 3. Мобильный автономный источник энергии

Fig. 3. Mobile autonomous power source

Описание автономного источника энергии. Мобильный автономный источник энергии, содержащий солнечно-воспринимающую поверхность для выработки электроэнергии, ветроэлектрическую установку, блок электрических аккумуляторов автоматическую систему управления, дополнительно содержит второй блок электрических аккумуляторов, предназначенный для обеспечения питанием автоматической системы управления, дизельную электрическую генераторную установку, бак нагрева воды со встроенным в него тепловым электрическим нагревателем, насос, подающий потребителю горячую воду, регулирующую арматуру и обратные клапаны, позволяет обеспечить потребителя как электрической, так и

тепловой энергией, все оборудование, кроме солнечно-воспринимающей поверхности и ветроэлектрической установки, находится в контейнере, который может быть перемещен в пространстве в зависимости от необходимости.

Заявляемое устройство поясняется чертежом, где на рисунке 3 схематично представлен мобильный автономный источник энергии.

Мобильный автономный источник энергии содержит солнечно-воспринимающую поверхность 1, предназначенную для выработки электроэнергии, ветроэлектрическую установку 2, предназначенную для выработки электроэнергии, основной блок электрических аккумуляторов 3, предназначенный для обеспечения электрической энергией потребителя, насоса 4 и теплового электрического нагревателя 5, второй блок электрических аккумуляторов 6, предназначенный для обеспечения питанием автоматической системы управления 7, автоматическую систему управления 7, предназначенную для эффективного и рационального управления всей системой мобильного автономного источника энергоснабжения, в зависимости от погодных условий, потребности потребителя, зарядки аккумуляторов 3, дизельную электрическую генераторную установку 8, предназначенную для поддержания необходимого уровня вырабатываемой электроэнергии в периоды неудовлетворительной солнечной и ветровой природных активностей, отвод продуктов сгорания 9 от дизельной электрической генераторной установки 8, бак нагрева воды 10, предназначенный для нагрева и аккумулирования нагретой воды, подаваемой потребителю, тепловой электрический нагреватель 5, встроенный в бак нагрева воды 10 и предназначенный непосредственно для нагрева воды, насос 4, подающий потребителю нагретую в баке 10 воду, регулирующую арматуру 11, предназначенную для регулирования гидравлического режима работы системы теплоснабжения, обратные клапаны 12, предназначенные для предотвращения гидравлического воздействия на оборудование мобильного автономного источника энергии со стороны системы теплоснабжения потребителя, инвертор 13, предназначенный для обеспечения необходимого напряжения электрической энергии, линии передачи электрической энергии 14 внутри системы мобильного автономного источника энергии; линии передачи сигнала 15 от датчиков на автоматическую систему управления 7, датчик регулирования мощности 16 теплового электрического нагревателя, связанный линией передачи сигнала 15 с автоматической системой управления 7, ввод 17 обратной воды от потребителя, вывод 18 подаваемой потребителю воды, вывод 19 электрической энергии потребителю 220В/50Гц, контейнер 20, в котором рационально размещено все оборудование, кроме солнечно-воспринимающей поверхности 1 и ветроэлектрической установки 2, расположенных на крыше контейнера 20.

Мобильный автономный источник энергии работает следующим образом:

При воздействии солнечной радиации на солнечно-воспринимающую поверхность 1, состоящую из фотоэлектрических элементов, в последних вырабатывается электрическая энергия, которая собираясь со всех элементов поверхности 1 поступает в основной блок электрических аккумуляторов 3 для дальнейшего обеспечения ей, проходя через инверторы 13, электропотребляющих устройств системы мобильного автономного источника энергии, и во второй блок электрических аккумуляторов 6 для обеспечения питанием автоматической системы управления 7, что позволяет повысить надежность работы автоматической системы управления 7.

При вращении ветром турбины ветровой электрической установки 2, генератор, установленный на одном валу с турбиной, вырабатывает электрическую энергию, которая, как и в случае с солнечной воспринимающей поверхностью 1, поступает в основной блок электрических аккумуляторов 3 и во второй блок электрических аккумуляторов 6.

В период времени, когда активность солнечного излучения и потоков ветра неудовлетворительна, и мощность вырабатываемой солнечно-воспринимающей поверхностью 1 и ветроэлектрической установкой 2 электроэнергии становится меньше 40% от номинальной электрической мощности мобильного автономного источника энергии, в работу включается дизельная электрическая генераторная установка 8, управляемая автоматической системой управления 7, вырабатывая необходимое количество электроэнергии и повышая уровень мощности вырабатываемой мобильным автономным источником энергии электрической энергии до необходимого. Вырабатываемая дизельной электрической генераторной установкой 8 электроэнергия, как и в случае с солнечно-воспринимающей поверхностью 1 и ветроэлектрической установкой 2, поступает в основной блок электрических аккумуляторов 3 и во второй блок электрических аккумуляторов 6, обеспечивая бесперебойность и надежность, как самой системы мобильного автономного источника энергии, так и энергоснабжения потребителя. Продукты сгорания от дизельной электрической генераторной установки отводятся через отвод 9.

Из второго блока электрических аккумуляторов 6 электроэнергия подается только на автоматическую систему управления 7 через инвертор 13 для ее питания, а из основного блока электрических аккумуляторов 3 – на двигатель вращающий вал насоса 4, подающего потребителю нагретую воду из бака 10, в котором вода нагревается тепловым электрическим нагревателем 5, питающимся через инвертор 13 от основного блока электрических аккумуляторов 3. Мощность

теплового электрического нагревателя 5 регулируется автоматической системой управления 7 посредством датчика регулирования мощности 16 в зависимости от нужд потребителя и заряда электрических аккумуляторов основного блока 3.

Нагретая в баке 10 вода подается потребителю насосом 4 через вывод трубопровода 18, на котором установлены регулирующая арматура (задвижка) 11 и обратный клапан 12 для регулирования гидравлического режима и предотвращения гидравлического воздействия на оборудование мобильного автономного источника энергии со стороны системы теплоснабжения потребителя. Для той же цели на вводе обратной воды от потребителя так же установлены обратный клапан 12 и регулирующая арматура 11. Так же регулирующая арматура 11 стоит на трубопроводе между баком нагрева воды 10 и насосом 4.

Таким образом, потребителю тепловая энергия подается через вывод 18, обратная вода принимается через ввод 17, а электрическая энергия подается через вывод 19, от основного блока электрических аккумуляторов 3 проходя через инвертор 13, с напряжением 220В и частотой 50Гц.

ВЫВОДЫ

Таким образом, на основании проведенных исследований, установлено, что применение автономных мобильных источников энергии возможно на территориях особо охраняемых, для отрасли ЖКХ и для двойного назначения. Исследования по улучшению свойств энергетического контейнера будут продолжены. Планируется исследовать применения энергетического контейнера для реализации федеральной программы «Байкал – великое озеро великой страны».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. http://www.abok.ru/ - Утилизация тепла канализационных стоков, Н.В.Шилкин – инженер;

2. http://www.rosteplo.ru/ - Пути решения проблемы теплоснабжения в коммунальном хозяйстве с использованием тепловых насосов;

3. Хайруллин И.Д. Закиров Д.Д. Положительные аспекты внедрения технологий отопления с применением тепловых насосов. – Энергосбережение и проблемы энергетики Западного Урала. – 1999.- №3. – с.27-28;

4. http://www.energodoma.ru/ - Многофункциональный энергетический контейнер EWA;

5. Федеральный закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 13.07.2015) "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты российской федерации;

6. Комментарий к федеральному закону от 23 ноября 2009 г. N 261-фз "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты российской федерации" Н.А. Петрусева, В.Ю. Коржов;

7. http://www.ecospheretech.com/environmental-engineering-technologies/powercube - Ecos PowerCube;

8. В. В. Ковальчук, Высвобождение электрической мощности как инвестиционный ресурс для энергосбережения // Энергосбережение, 2010, №6.

9. Меньшенин И.О., Толстой М.Ю., Сторожко Е.А. Мобильный автономный источник энергии. Патент на полезную модель RU № 122712 U1, опубликовано 10.12.2012 Бюл. № 34.

REFERENCES

1. http://www.abok.ru/ -Heat utilization of sewer drains, N.V. Shilkin is an engineer;

2. http://www.rosteplo.ru/ -heat supply problem Solutions in municipal services with use of heat pumps;

3. Khayrullin I.D. Zakirov D.D. Positive aspects of introduction of technologies of heating with application of heat pumps. – Energy saving and problems of a power industry of the Western Urals. – 1999.-No. 3. – page 27-28;

4. http://www.energodoma.ru/ - the Multipurpose power container EWA;

5. The federal law of 23.11.2009 N 261-FZ (an edition of 13.07.2015) "About energy saving and about increase in power effectiveness, and about introduction of amendments to separate acts of the Russian Federation;

6. The comment to the federal law of November 23, 2009 N 261-fz "About energy saving and about increase in power effectiveness, and about introduction of amendments to separate acts of the Russian Federation" N.A. Petruseva, V.Yu. Korzhov;

7. http://www.ecospheretech.com/environmental-engineering-technologies/powercube - Ecos PowerCube;

8. V.V. Kovalchuk, the Release of electric power as an investment resource for energy saving // Energy saving, 2010, No. 6.

9. Menshenin I. O., Tolstoy M.Yu., Storogko E.A. Mobile independent energy source. The patent for the useful RU No. 122712 U1 model, it is published 10.12.2012 Bulletin No. 34.

STUDY OF THE APPLICATION OF ENERGY-SAVING INSTALLATIONS OF LIFE SUPPORT SYSTEMS FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION AREAS

Belokaya N.V., Popov V.S., Popova E.M., Tolstoy V.M., Tolstoy M.Yu

Summary: Results of research and development of the combined mobile caravan for life support systems with use of energy saving technologies on the basis of solar collectors are given. On the basis of the conducted researches the combined mobile caravan working at renewables is offered.
Key words: mobile installation, solar collector, renewables

УДК 628.356

РАЗРАБОТКА, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ РЕАКТОРНЫХ УЗЛОВ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИБОРО И МАШИНОСТРОЕНИЯ.

Дарманян А.П., Урецкий Е.А., Субботкин Л.Д., Мороз В.В.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»
295007, Республика Крым, г. Симферополь;
Брестское отделение Белорусской Инженерной Технологической Академии (БИТА);
Брестский государственный технический университет, г. Брест, Республика Беларусь
email: ldsword@mail.ru

Аннотация Расчет по методу системного анализа, применяемый при проектировании химических процессов показал, что в стандартных химических аппаратах с перемешивающими устройствами, при незначительных доработках, можно выбрать оптимальные технологические условия и рассчитать производительность установок в зависимости от состава и количества обрабатываемых сточных вод. Проведенная декомпозиция системы на отдельные составляющие позволила составить математическую модель каждой из подсистемы и объединить их в единое математическое описание. Такое математическое описание используется для выбора оптимальных технологических режимов процесса. Полученная методика расчета позволила интенсифицировать процессы обезвреживания промышленных сточных вод, при этом высвободить 7 химических аппаратов из 9 установленных по проекту, при одновременном увеличении нагрузки на оставшиеся более чем в 3 раза без ухудшения качества очистки сточных вод

Ключевые слова: обезвреживание сточных вод, химический процесс, система автоматического регулирования, химическая аппаратура, реагент, гидродинамика, кинетика химических реакций, гидролиз, математическая модель, пропеллерная мешалка, турбинная мешалка, якорная мешалка, индикатор, вихревой смеситель, хлопьеобразование.

Эксплуатация показала, что наиболее приемлемым видом оборудования для ведения процессов реагентной очистки являются типовые емкостные аппараты с механическим перемешивающими устройствам. Тем не менее, технологические возможности стандартной химической аппаратуры не учитываются. Во внимание принимается лишь объем аппаратов, позволяющий выдерживать стоки в соответствии с нормативным интервалом времени.

Характерные ошибки при подборке и обвязке химических аппаратов с перемешивающими устройствами:

-подбор оборудования без учета кинетики химических процессов;

-игнорирование гидродинамических возможностей химической аппаратуры;

-неправильная обвязка реакторов технологическими трубопроводами;

-непродуманные точки ввода сточных вод и реагентов в химический реактор;

-размещение чувствительных элементов систем автоматического регулирования (САР) вне активных зон реактора;

-отсутствие учета инерционности САР;

Все указанные ошибки резко ухудшили эффективность использования стандартной химической аппаратуры и привели к высокой металло- и энергоемкости технологических линий. Эффект очистки ниже ожидаемого.

Необходимо применять единую методику, которая позволит выбрать оптимальные технологические условия и рассчитать производительность установок в зависимости от состава и количества обрабатываемых сточных вод. Для решения этой задачи использованы методы системного анализа, которые успешно применяются при проектировании химических процессов, также при создании безотходных химических производств согласно этому методу вся реакторная часть установок рассматривается как сложная химико-технологическая система (ХТС), стоящая из отдельных подсистем, функционально связанных друг с другом. Расчленение (декомпозиция) системы на отдельные составляющие позволяет составить математическую модель каждой из подсистемы и объединить их в единое математическое описание. Такое математическое описание используется для выбора оптимальных технологических режимов процесса.

Применение этих принципов к процессам реагентной очистки сточных вод позволило выделить три иерархических уровня: кинетику химических реакций, гидродинамику аппаратов, смешивание химических реагентов с обрабатываемыми сточными водами на молекулярном уровне (микроперемешивание). Функциональное соединение этих уровней привело к созданию единой методологии проектирования, схематично показанной на рисунке 1.

Использование этой методологии позволяет условно разбить весь процесс проектирования на три этапа:

-анализ проблемы и постановка цели проектирования;

-проведение научных исследований и синтез оптимальных технологических режимов;

-алгоритм расчета реакторной части технологических схем.

В соответствии с этими этапами проводилась разработка аппаратурного оформления технологических схем.

Одним из главных условий является знание кинетики химических реакций. В связи с этим были проведены исследования кинетики химических реакций, используемых для реагентной очистки сточных вод» [1,2.3.4.5.6].

Эти исследования показали, что реакции восстановления хрома (IV), гидролиза, являются реакциями второго порядка и характеризуются высокими значениями констант скоростей. При этом константа скорости восстановления хрома (V1) зависит от величины pH среды (для амфотерной гидроокиси $Cr(OH)_3$ оптимальная величина pH осаждения 8-9,5, т.к. при значении pH выше 9,5 гидроокись начинает растворяться) [1].

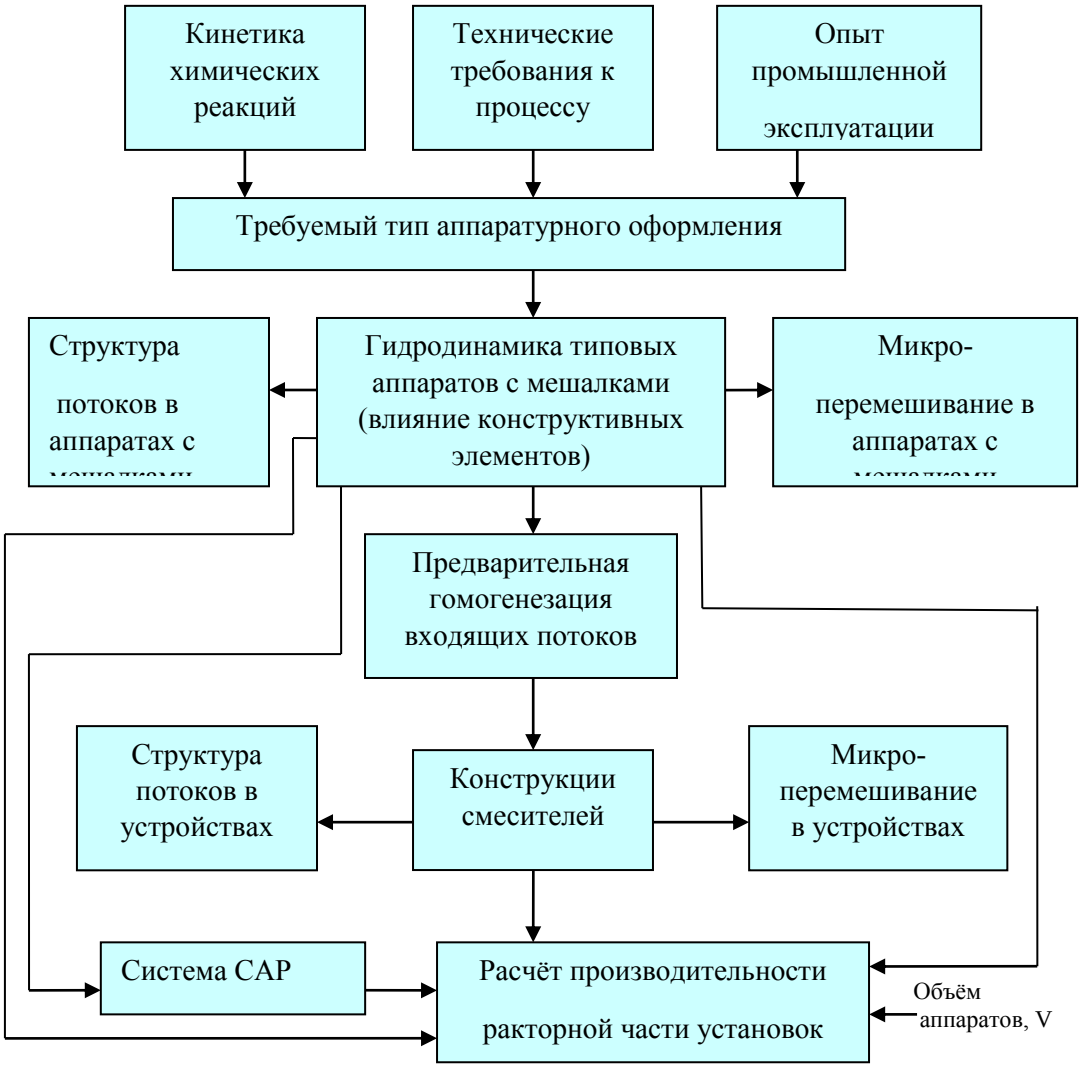


Рис. 1. Методология проектирования реакторной части установки очистки сточных вод
Fig. 1. The design methodology of the reactor part of the wastewater treatment plant

Математическая модель кинетики реакции была, получена, в следующем виде [1.2]

$$\frac{d[Cr^{6+}]}{dt} = -k_1[Cr^{6+}]^2$$

$$\text{где, } k_{1} = 1.11 \cdot 10^{12} \cdot e^{-4.9pH}. \left[\frac{л}{моль \cdot с}\right] \quad \text{при } 20^0C$$

Для реакции нейтрализации математическая модель кинетики в диапазоне значения pH 8-9,5 описывается уравнением:

$$\frac{d[Cr^{6+}]}{dt} = -k_2[Cr^{3+}]^2$$

$$\text{где, } k_2 = 2.3 \cdot 10^{4} \left[\frac{л}{моль \cdot с}\right] \quad \text{при } 20^0C$$

Причинами высокой металлоемкости и энергоемкости являются: игнорирование скоротечности химических процессов, используемых в реагентной очистке и конкретной гидродинамической обстановки в аппаратах.

Как показали исследования кинетики химической реакции восстановления шестивалентного хрома (процесса, считавшегося наиболее продолжительным), он также скоротечен [1,2]. Для проведения его в промышленной установке необходимо обеспечить время смешения, определяемое по формуле

$$\tau_{см} \le \frac{\ln(\frac{1}{1-\eta})}{10kC_0}$$

где η - степень однородности среда

C_o- начальная концентрация

k- константа скорости реакции

Расчет по формуле для степени однородности среды η -0,99,

$$C_o = 3{,}36 \cdot 10^{-4} \frac{моль}{литр}, \text{ pH=4.5}$$

приводит к значению $\tau_{см}$=3 секунды.

При меньших значениях pH $\tau_{см}$ еще меньше.

Промышленные аппараты стандартной конструкции не обеспечивают таких малых времен смешения. Так, для пропеллерных мешалок $\tau_{см}$=28с, для турбинных $\tau_{см}$=14с

В этих аппаратах невозможно добиться необходимых условий проведения быстрых реакций, а увеличение времени пребывания до 30 минут, не является лучшим решением. Кроме того, высокая степень превращения вещества (до 0,99) требует учета проточных свойств аппаратов, гидродинамика которых в настоящее время изучена недостаточно. И это касается не только моделей структуры потоков аппаратов с пропеллерными мешалками при различных способах подачи реагентов, но и смешении их с обрабатываемыми сточными водами на молекулярном уровне [6,7], которое и определяет качество смешения и возможность проскока непрореагировашего вещества на выход из аппарата.

Цель проектирования технологии реагентной очистки сточных вод заключается в том, чтобы разработать аппаратурное оформление процесса на основе типового аппарата с механической мешалкой, обеспечивающей интенсивное перемешивание сточных вод с реагентами.

Для изучения гидродинамики типовых аппаратов с якорными мешалками и пропеллерными было проведено исследование проточных свойств этих аппаратов и структуры потоков. Для этого использовался метод входного возмущения, когда на вход аппарата наносится возмущение каким-нибудь индикатором, а на выходе регистрируется кривая изменения концентрации индикатора во времени [1,2]. Таким методом проводилось изучение структуры потоков как лабораторных, так и промышленных аппаратов. При изучении промышленных аппаратов с якорными мешалками в качестве индикаторов использовались радиоактивные изотопы (метод РАИ), а в остальных случаях - раствор соли KCl [6.7].

Лабораторная установка для изучения гидродинамики аппаратов показана на фотографии (рис.2). Было проведено более 150 опытов. При анализе кривых отклика на лабораторном аппарате с пропеллерными мешалками, геометрически подобном промышленному аппарату, было установлено, что модель структуры потоков этого аппарата в широком диапазоне изменения числа оборотов мешалки (n =120-960 об/мин) и расхода жидкости отвечает модель идеального смешения. Это объясняется высокой интенсивностью смешения пропеллерной мешалкой (время гомогенизации 20 с), и использования энергии, создаваемой тангенциальным вводом жидкости, обеспечивающей дополнительную турбулизацию потока.

На базовом предприятии Брестском электромеханическом заводе (БЭМЗ) была изучена структура потоков в аппаратах с якорными мешалками на стандартных аппаратах объемом 2,0 м^3, 2,5 м^3, 5,0 м^3, 6,3 м^3 при различных способах подачи и отвода жидкости.

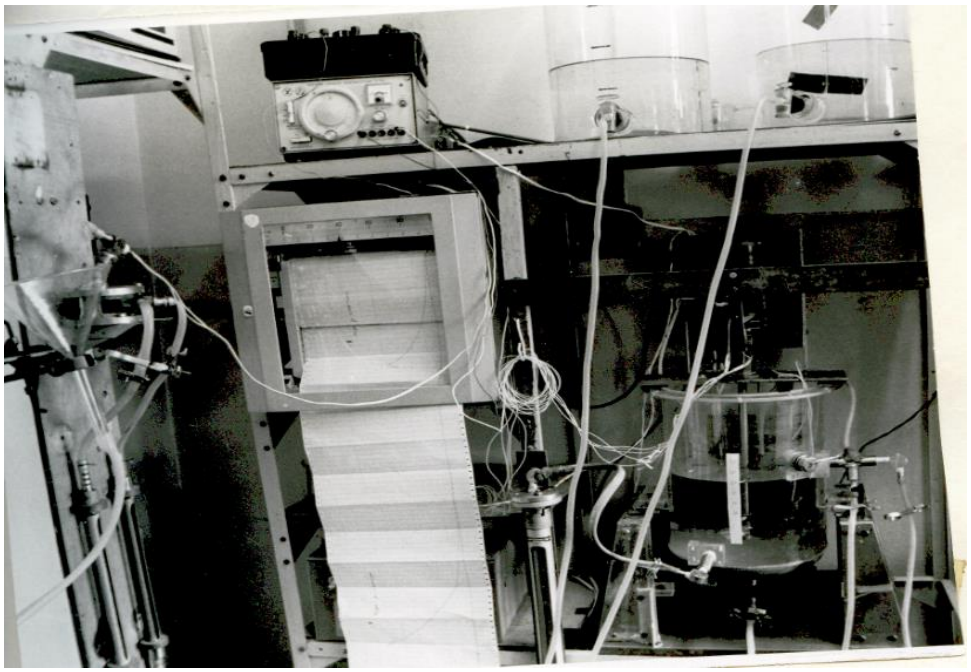


Рис. 2. Лабораторная установка для изучения структуры потоков в аппаратах, оборудованных механическими мешалками

Fig. 2. Laboratory setup to study flow patterns in machines equipped with mechanical agitators

Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 3.

Установка состоит из аппарата с пропеллерной мешалкой. Привод мешалки осуществляется от электромотора постоянного тока через ременную передачу. Число оборотов электродвигателя регулируется изменением напряжения, подаваемого от автотрансформатора к выпрямителю. Параметры тока, потребляемого электродвигателем, регистрируются вольтметром и амперметром. Число оборотов вала мешалки регистрируется тахометром. Вода в аппарат подается с помощью насоса из ёмкости. Расход регулируется вентилем. Электропроводность раствора, уходящего из аппарата, определялась с помощью кондуктометрической ячейки и измерительной системы (рис.3), состоящей из согласующего усилителя и потенциометра и фиксировалась на ленте прибора. Раствор из аппарата сбрасывался в канализацию. В качестве рабочей жидкости использовалась дистиллированная вода, индикатором служил хлористый натрий. Жидкость подавалась область мешалки.

Наилучшее соответствие экспериментальным данным, полученным на аппаратах различного масштаба, показала рециркуляционная $\varphi = 0{,}3$, $r_z =$ 10^{-3}, причем, ясно доказано существование застойных зон в аппарате. Увеличение расхода жидкости улучшает перемешивание и приближает модель структуры потоков к идеальному перемешиванию.

При расчете химических реакторов наряду с данными по кинетике химических реакций и структуре потоков аппарата необходимо учитывать уровень смешения. Различают два предельных состояния: полная сегрегация (ПС) и максимальная смешанность (МС). Расчет превращений вещества для этого предельного состояния, в случае реакции второго порядка, обнаруживает разницу в выходе до 7% да реагентов и сточной жидкости перемешанных на входе в аппарат.

В результате проведённых исследований установлено, что только при определенных числах оборотов ($n \geq 700$ об/мин) или при определенном расходе реагентов ($Da \approx 1$) при n=88 об/мин имеет место состояние полной сегрегации, т.е. достигается максимум превращения вещества и полностью исключаются проскоки не прореагировавшего вещества на выход. Это состояние и является наиболее благоприятным для проведения быстрых химических реакций, к которым относятся реакции нейтрализации, гидролиза и восстановления.

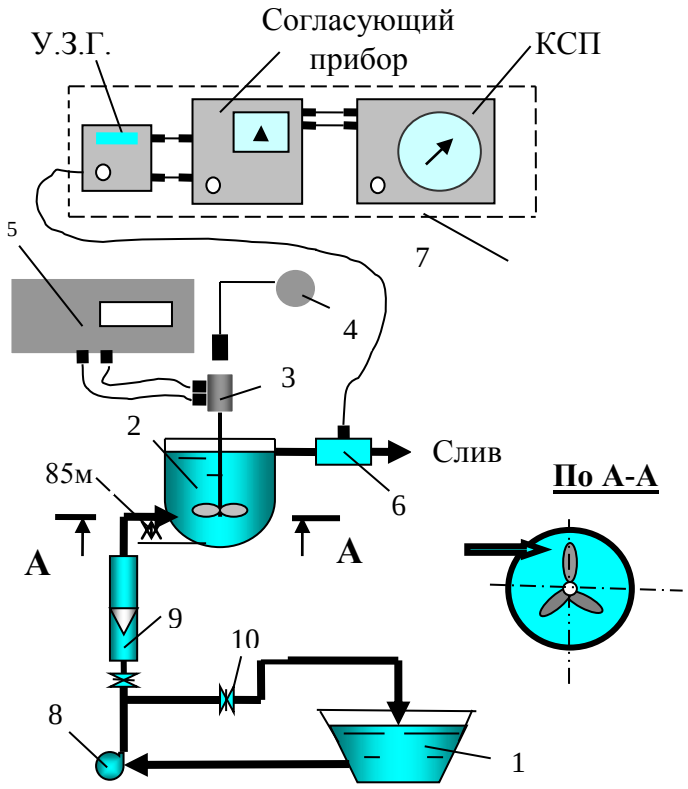


Рис. 3. Схема экспериментальной установки
Fig. 3. The scheme of the experimental setup

1 – ёмкость с дистиллированной водой; 2 – аппарат с мешалкой; 3 –электродвигатель; 4 – тахометр; 5 – система регулирования числа оборотов; 6 – кондуктометрическая ячейка; 7 – система замера электропроводности; 8 – насос; 9 – ротаметр; 10 – вентили;

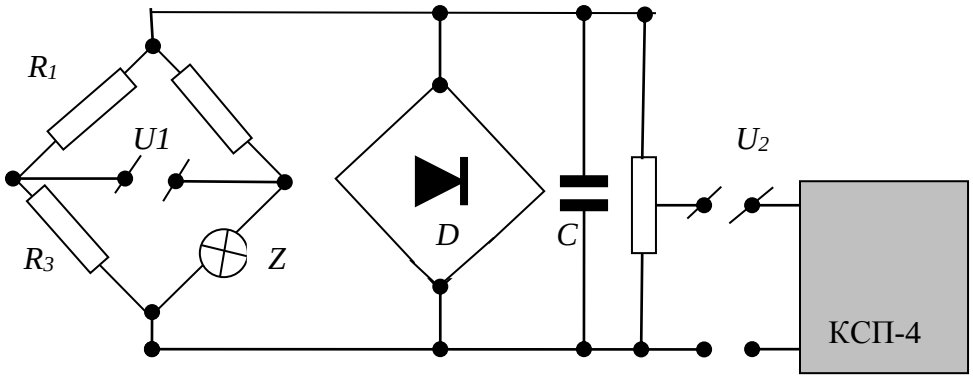


Рис. 4. Схема для измерения электропроводности
Fig. 4. Scheme for measuring conductivity

$R_1 = R_2 = 3{,}3$ кОм; R_m – магазин сопротивлений (потенциометр); $C = 2$ мкф (тип К50) – фильтр; $Д = 310$ (4 шт) – выпрямительный мост; $P_3 = 1{,}5$ кОм – потенциометр; U_1 – питающее напряжение от любого звукового генератора; U_2 – 1 - 3 *V*, 2 - 3 кГц, переменный ток; *Z* – измерительная ячейка (2 пластины)

На основании проведённых исследований [4] были разработаны реакторные ресурсосберегающие узлы и компактные устройства, обеспечивающие эффективное проведение процессов очистки промышленных сточных вод [5,8,9].

Эффективное обезвреживание сточных вод производств защитных покрытий и печатных может быть осуществлено с помощью

малозатратного ресурсосберегающего «вихревого смесителя» (рисунок 5, 6, 7), конструкция которого защищена патентом на полезную модель [10].

Структура потоков в статических смесителях определялась экспериментально на лабораторной установке путем изучения реакции системы на входное возмущение.

В процессе исследований установлено, что степень сегрегации реагентов и обрабатываемых сточных вод при последовательном прохождении их через входной тангенциальный патрубок 3 и камеру смешения 2 составляет не менее 95%. Практически совокупность этих стадий перемешивания при широком спектре расходов сточных вод и реагентов представляет собой идеальный смеситель.

Вихревой смеситель функционирует следующим образом. Сточные воды, подлежащие обработке, поступают во входной тангенциальный патрубок 3, который сплющен в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Поток воды, проходя через сжатые овальные сечения 6 и 7, ускоряется и приобретает винтовой характер, чем достигается интенсивное смешение в полном объёме жидкости на выходе.

Непосредственно перед входом в корпус 1 через насадки 8, 9, расположенные под углом к боковым сжатым сечениям, вводятся реагенты.

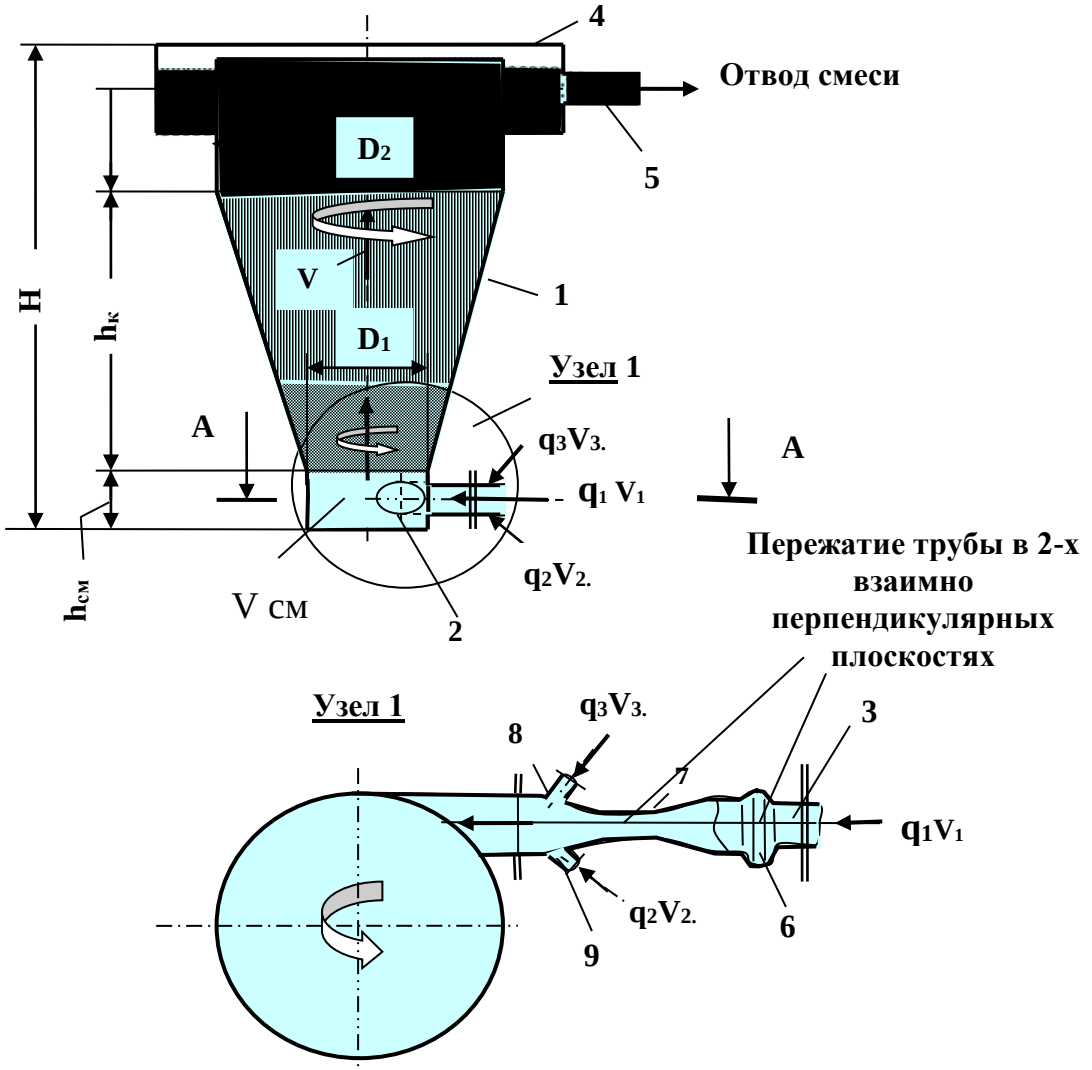


Рис. 5. Схема аппарата для проведения процессов предварительного смешения и последующего хлопьеобразования. 1 - цилиндрический корпус; 2 - камера смешения: 3 - входной тангенциальный патрубок; 4 - кольцевой периферийный лоток; 5 – отводящий патрубок; 6 и 7 - развёрнутые под углом 90° сжатые овальные сечения; 8, 9 – насадки для ввода реагентов

Fig. 5. Scheme of the apparatus for carrying out the processes of preliminary mixing and subsequent flocculation. 1 - cylindrical body; 2 - mixing chamber: 3 - tangential inlet connection; 4 - ring peripheral tray; 5 - outlet pipe; 6 and 7 - compressed oval sections, developed at an angle of 90 °; 8, 9 - nozzles for entering reagents

На рисунке 6 приведен график отношений площадей F_o/F овального сечения к

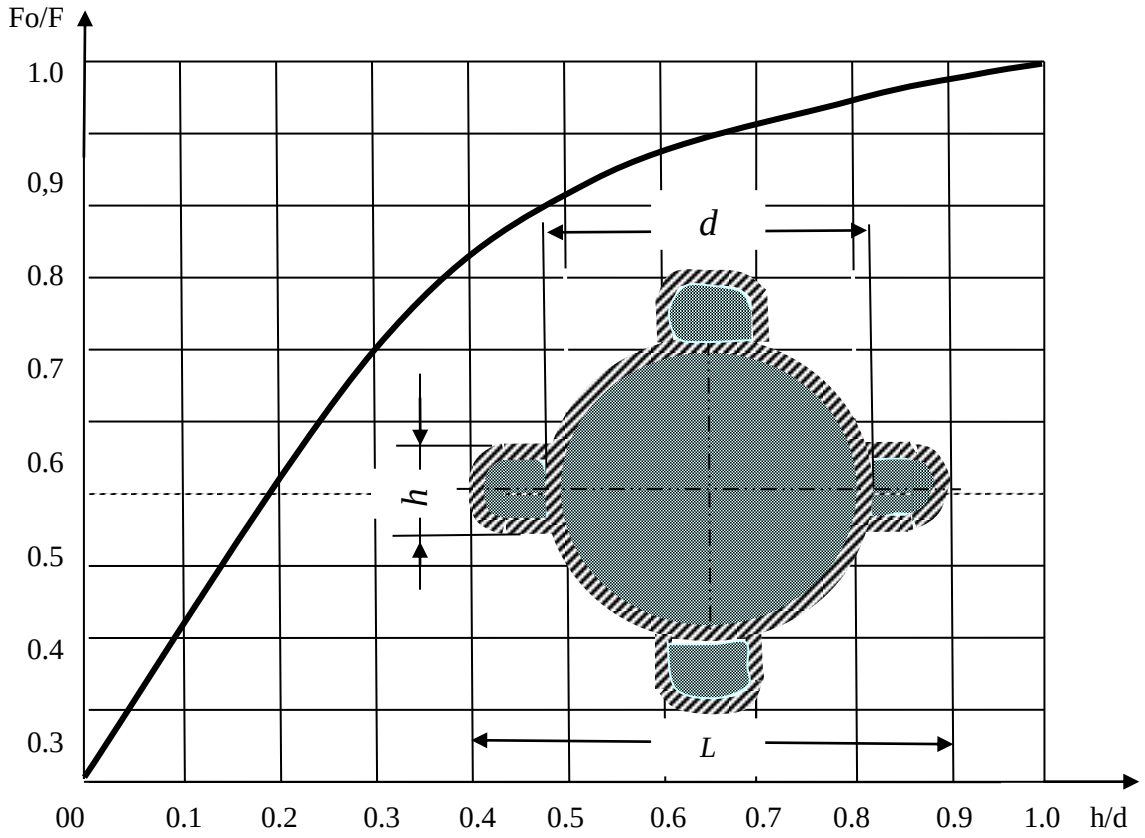


Рис. 6. Отношение площадей Fo/F овального сечения к круглому сечению в зависимости от степени пережатия цилиндрического насадка. Геометрические характеристики насадка
Fig. 6. The ratio of the areas Fo / F of the oval section to the circular section depending on the degree of compression of the cylindrical nozzle. Geometric characteristics of the nozzle

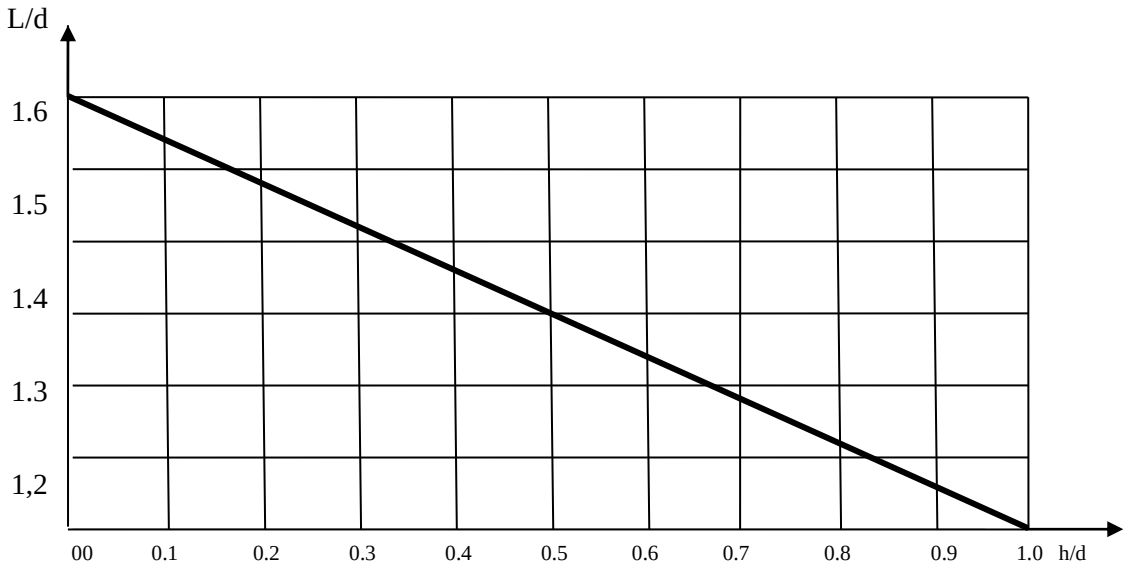


Рис. 7. Отношение ширины овального сечения насадка к его диаметру в зависимости от степени пережатия h/d цилиндрического насадка
Fig. 7. The ratio of the width of the oval section of the nozzle to its diameter depending on the degree of clamping h / d cylindrical nozzle

коллектора, на которых сорбируются органические и другие загрязнения.

Время пребывания обрабатываемой смеси в конической части соответствует времени достижения минимума оптической плотности. Основные параметры работы аппарата хлопьеобразования приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные параметры работы аппарата хлопьеобразования

Table 1-the Main parameters of the flocculation apparatus

Параметр	Обозначение	Ед. измерения	Величина
Время пребывания в смесительной камере	$\tau_{см}$	с	20–30
Скорость истечения среды из сопел в смесительной камере	V	м/с	Не более 0,5
Соотношение скоростей истечения сред из сопел	$V_1/V_2/V_3$	–	Не менее 5
Скорость движения среды на выходе из смесительной камеры	$V_{см}$	м/с	Не более 0,5
Скорость движения среды на выходе из камеры хлопьеобразования	$V_к$	м/с	Не более 0,005

ВЫВОД

Расчеты, произведенные по специально составленным программам, показали, что в стандартных аппаратах с перемешивающими устройствами при незначительных доработках, по рекомендациям авторов, можно резко интенсифицировать процессы обезвреживания промышленных сточных вод. Это позволило на базовом объекте высвободить 7 химических аппаратов из 9 установленных по проекту, при одновременном увеличении нагрузки на оставшиеся более чем в 3 раза без ухудшения качества очистки сточных вод [8,11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий. Монография: Издательство LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany, С. 2014 - 360.

2. Гогина Е.С., Гуринович А.Д, Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии промышленного водоснабжения и водоотведения: Справочное пособие. М., Издательство Ассоциации строительных ВУЗов России, 2012. – С 312.

3. Субботкин Л.Д., Урецкий Е.А., Мороз В.В. Разработка и внедрение ресурсосберегающей технологии совместной очистки сточных вод гальванического и покрасочного производств / // Сб. научных трудов Строительство и техногенная безопасность. – Симферополь: КФУ-АСА, 2017. – № 8 (60) – С. 73–78.

4. Субботкин Л.Д., Урецкий Е.А., Мороз В.В. Исследования процессов совместной физико-химической очистки сточных вод гальванического и покрасочного производства. //Сб. научных трудов Строительство и техногенная безопасность. – Симферополь: КФУ-АСА, 2017. – № 8 (60) – С. 137–143.

5. Урецкий Е.А., Мороз В.В., Субботкин Л.Д., Дарманян А.П. Разработка и внедрение реакторных узлов для проведения процессов хлопьеобразования и сорбции лакокрасочных материалов на оксигидратных коллекторах// Вестник БГТУ – Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – 2018. – № 23.

6. Дарманян, А.П. Исследование влияния степени смешения реагентов на скорость химической реакции в проточном реакторе / А.П. Дарманян, О.А. Тишин, Н.В. Тябин // Тезисы доклада 8–й Всесоюзной конференции по химическим реакторам (Хим. Реактор–8): т. 2. – Чимкент, 1983. – С. 312–317.

7. Дарманян, А.П. К вопросу об изучении кинетики химических реакций в проточных аппаратах смешения // Журнал прикладной химии. – т. 8. – 1985. – № 9. С. 2046–2050.

8. Способ совместной очистки сточных вод лакокрасочных производств и производств защитных покрытий и плат: пат. 12453 Республика Беларусь / Е.А. Урецкий, В.В. Мороз; заявитель БГТУ – № 20071107; заявлено 11.09.2007; опубликовано 16.07.2009 / Гос. реестр на изобретение.

9. Устройство для проведения физико–химических процессов: пат. Республика Беларусь / Е.А. Урецкий, В.В. Мороз; заявитель БГТУ – № u 20150026; заявлено 26.01.2015; опубликовано 19.03.2015 / Государственный реестр полезных моделей.

10. Вихревой аппарат: патент 4810 Республика Беларусь / Е.А. Урецкий, В.В. Мороз, Е.И. Дмухайло; заявитель Брестский ГТУ – № 20080317; заявлено 16.04.2008; опубликовано 04.08.2008 / Государственный реестр полезных моделей.

11. Акт внедрения НИР от 16.10 2014, г Брест “Технология обезвреживания сточных вод покрасочного производства в рамках очистных

сооружений гальванического производства БЭМЗ без использования дополнительного оборудования”

REFERENCES

1. Uretsky E.A. Resource-saving technologies in water management of industrial enterprises. Monograph: Publisher LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany, p. 2014-360.

2. Gogina E.S., Gurinovich A.D., Uretsky E.A. Resource-saving technologies of industrial water supply and wastewater: a reference guide. M., Publishing House of the Association of Construction High Schools of Russia, 2012. - P 312.

3. Subbotkin LD, Uretsky E.A., Moroz V.V. Development and implementation of resource-saving technology of joint wastewater treatment of electroplating and painting facilities / // Coll. scientific papers Construction and technological safety. - Simferopol: KFU-ASA, 2017. - № 8 (60) - P. 73–78.

4. Subbotkin LD, Uretsky E.A., Moroz V.V. Investigation of processes of joint physicochemical treatment of wastewater from electroplating and painting production. // Sat. scientific papers Construction and technological safety. - Simferopol: KFU-ASA, 2017. - № 8 (60) - p. 137–143.

5. Uretsky, EA, Moroz, VV, Subbotkin, LD, Darmanyan, A.P. Development and implementation of reactor units for carrying out the processes of flocculation and sorption of paints and varnishes on oxyhydrate collectors. Vestnik BGTU - Water Management and Thermal Power Engineering. - 2018. - № 23.

6. Darmanyan, A.P. Study of the influence of the degree of mixing of reagents on the speed of a chemical reaction in a flow reactor / A.P. Darmanyan, O.A. Tishin, N.V. Tyabin // Abstracts of the report of the 8th All-Union Conference on Chemical Reactors (Chem. Reactor – 8): V. 2. - Chimkent, 1983. - P. 312–317.

7. Darmanyan, A.P. On the question of the study of the kinetics of chemical reactions in flow-through mixing devices // Journal of Applied Chemistry. - V. 8. - 1985. - No. 9. S. 2046-2050.

8. The method of joint wastewater treatment of paint and varnish production and production of protective coatings and boards: Pat. 12453 Republic of Belarus / E.A. Uretsky, V.V. Frost; applicant BSTU - № 20071107; announced September 11, 2007; published 07.16.2009 / State. registry for the invention.

9. Device for carrying out physical and chemical processes: Pat. Republic of Belarus / E.A. Uretsky, V.V. Frost; applicant BSTU - № u 20150026; announced 01/26/2015; published 03/19/2015 / State Register of utility models.

10. Vortex apparatus: patent 4810 Republic of Belarus / E.A. Uretsky, V.V. Moroz, E.I. Dmuhaylo; applicant Brest State Technical University - № 20080317; announced April 16, 2008; published 04.08.2008 / The state register of utility models.

11. The act of introducing research from 16.10.2014, g. Brest “The technology of neutralization of wastewater of the painting production as part of the BEMZ electroplating treatment facilities without the use of additional equipment

DEVELOPMENT, DESIGN AND IMPLEMENTATION OF REACTOR KNOTS OF THE PROCESSES OF CLEANING OF WASTE WATER OF ENTERPRISES OF THE DEVICE AND ENGINEERING.

Darmanyan A.P., Uretsky E.A., Subbotkin LD, Moroz V.V.

Summary Calculation using the method of system analysis used in the design of chemical processes has shown that in standard chemical apparatus with mixing devices, with minor modifications, it is possible to select the optimum process conditions and calculate the productivity of the plants, depending on the composition and quantity of treated sewage. The decomposition of the system into separate components made it possible to compile a mathematical model of each of the subsystems and combine them into a single mathematical description. This mathematical description is used to select the optimal technological process regimes. The received calculation technique allowed to intensify the processes of neutralizing industrial wastewater, while releasing 7 chemical devices from 9 installed by the project, while increasing the load for the remaining more than 3 times without deteriorating the quality of wastewater treatment

Key words waste water neutralization, chemical process, automatic control system, chemical equipment, reagent, hydrodynamics, kinetics of chemical reactions, hydrolysis, mathematical model, propeller stirrer, turbine stirrer, anchor stirrer, indicator, vortex mixer, flocculation.

УДК 628.315.2

КОМПАКТНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОЧИСТКИ БЫТОВЫХ СТОКОВ

Амбросова Г.Т, Семенова А.П., Колодезникова А. П.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Аннотация. Дана оценка достоинств и недостатков конструкций отечественных и зарубежных компактных установок. Отмечено, что компактные установки, разработанные до 1990 годов, были предназначены исключительно для снижения в сточной жидкости двух показателей: БПК и взвешенных веществ. В период примерно с 1990 по 2005 годы начали в массовом количестве появляться компактные установки, способные снижать в сточной жидкости помимо БПК, взвешенных веществ и удаление азота. В основу этих установок были заложены технологии биологической очистки стоков методом нитрификации и денитрификации. Современные компактные установки способны удалять из сточной жидкости растворимые и нерастворимые органические загрязнения, а также биогенные элементы (азот и фосфор). Приведены проблемы, связанные с запуском в нормальную эксплуатацию современной компактной установки, возведенной в рабочем посёлке Маслянино Новосибирской обл., которые были выявлены после детального обследования её технического состояния и глубокого анализа данных лабораторно-производственного контроля, а также после выполнения поверочного расчёта узлов очистки стоков, обработки и обезвоживания осадков. На рассматриваемом объекте к основным проблемам относятся: низкая температура сточной жидкости, как в летний (не выше 18^{O}C), так и зимний (снижается до 5^{O}C) периоды года, недостаточный объём резервуара-усреднителя, неэффективная и к тому же дестабилизирующая работу всего комплекса регенерация носителей прикрепленных микроорганизмов, размещенных в зонах денитрификаторов и аэротенков, а также биореакторов, предназначенных для доочистки стоков. Прокомментированы предлагаемые рекомендации по устранению существующих проблем с целью достижения требуемого качества очистки стоков.
Ключевые слова. Компактная установка, сточная жидкость, влияние температуры, азот, фосфор, особенности эксплуатации.

ВВЕДЕНИЕ

Компактные установки предназначены для очистки стоков малых населенных мест или отдельных объектов (коттеджей, кемпингов, туристических баз, домов отдыха, санаториев, пионерских лагерей и др.). Компактные установки также можно использовать в качестве локальных сооружений для очистки производственных стоков предприятий пищевой промышленности. В этом случае состав компактной установки зависит от точки сброса очищенной сточной жидкости, а именно сбрасывается она в городской коллектор, в водоём или на рельеф. При сбросе стоков в городской коллектор БПК снижается примерно до 150-180 мг/л, взвешенные вещества до 200-230 мг/л, аммоний солевой до 7-8 мг/л, фосфор до 4-4,5 мг/л. Сброс стоков в водоём требует более высокой степени очистки особенно в водоём рыбо-хозяйственного назначения (БПК и взвешенные вещества 2-3 мг/л, аммоний солевой 0,4 мг/л, нитриты 0,07-0,08 мг/л, нитраты 39-40 мг/л, фосфор 0,15-0,2 мг/л). На рельеф сбрасывают стоки при их использовании на орошение или для дальнейшей очистки в биологических прудах. Исходя из этого, применяются неполная или полная биологическая очистка стоков, а также полная биологическая очистка стоков с последующей их доочисткой на фильтрах или в биопрудах. В населенных пунктах Российской Федерации чаще всего стоки после компактных установок сбрасываются в водоём.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИИ

До 1990 годов в отечественной и зарубежной практике очистки сточной жидкости использовались компактные установки, обеспечивающие снижение только двух показателей (БПК и взвешенные вещества). В то время считалось, что удаление растворимых и нерастворимых органических загрязнений позволит исключить загрязнение водоёмов, сопровождающееся разной степенью их эвтрофирования. К сожалению, время показало, что водоёмы как цвели, так и продолжали цвести, правда, с меньшей интенсивностью. Со временем было установлено, что эвтрофирование происходит в результате сброса в водоёмы биогенных элементов (азота, фосфора и серы), причём было выявлено, что элементом, лимитирующим эвтрофирование, является фосфор. Считается, что при концентрации фосфора в водоёме ниже 0,2 мг/л цветение водоёма исключено. Поэтому с 1990 года начали исследовать и на отдельных объектах внедрять более совершенные технологии очистки сточной жидкости. Современные компактные установки способны удалять из стоков растворимые и нерастворимые органические вещества, а также биогенные элементы (азот и фосфор). При этом $БПК_{пол}$ и взвешенные вещества снижаются примерно до 2-5 мг/л, аммоний солевой до 0,4-1 мг/л, фосфор до 0,15-0,4 мг/л.

В отечественной и зарубежной практике проектирования и эксплуатации применяют компактные установки, работающие в автоматическом или ручном режиме. Установки, работающие в автоматическом режиме, намного

дороже из-за высокой стоимости датчиков контроля расхода сточной жидкости, температуры, концентрации азота, фосфора, растворенного кислорода и pH. Автоматический режим работы установки позволяет исключить влияние человеческого фактора и обеспечить высокое качество очищенных стоков в любое время года и любое время суток, однако для обслуживания системы автоматизации требуются специалисты высокой квалификации. Организовать качественное обслуживание можно только бригадным методом с объединением в один узел нескольких компактных установок, расположенных друг от друга на расстоянии не более, чем на 50-60 км.

Если управление компактной установки запроектировано в ручном режиме, то из-за отсутствия необходимой квалификации у обслуживающего персонала обеспечить постоянную стабильную и высоко качественную очистку стоков практически невозможно.

Компактные установки проектируют открытыми, подземными или размещенными в павильоне. Открытые применяются для районов с мягким климатом (юг Российской Федерации, Крым, Средняя Азия), подземные сооружения относятся к объектам с примитивной технологией (септики), компактные установки, с размещением в отапливаемых павильонах, устраивают в районах с суровым климатом со средней годовой температурой до +3^{O}C.

При проектировании компактных установок учитывается основная особенность, характерная исключительно для систем водоотведения малых населенных мест и отдельных объектов, а именно крайне неравномерное поступление стоков. Коэффициент часовой неравномерности, который отражает отношение максимального часового расхода к среднему (q_{max}/q_{mid}) может достигать 2,5-3,5. Если же сравнивать максимальный приток с минимальным, то этот коэффициент ещё выше и может достигать 6-10. При таком режиме поступления стоков получить высокое качество их очистки даже при суперсовременной технологии и профессиональном обслуживании не представляется возможным. В основу технологии очистки стоков компактных установок заложена биологическая очистка, для которой обязательно соблюдение трёх условий: постоянное и равномерное поступление стоков, постоянная циркуляция активного ила и непрерывная подача необходимого количества воздуха. Для обеспечения этих требований в последнее время в состав компактных установок в обязательном порядке включают резервуары-усреднители, рассчитанные примерно на 18-20 часов.

Как правило, для ОСК малых населенных мест характерна низкая температура поступающей на очистку сточной жидкости, обусловленная малым её расходом, большой площадью контакта стоков со стенками труб в холодный период года. Общеизвестно, что для биологической очистки оптимальной температурой является 20^{O}C, минимальной 9^{O}C, максимальной 35^{O}C. При температуре 20^{O}C в аэротенке создаются благоприятные условия для существования и размножения многих видов бактерий, простейших и микроскопических животных. Температура 9^{O}C является минимальной, при которой возможно окисление органических веществ в вялотекущем режиме, дальнейшее снижение приводит к полному прекращению биохимических процессов. При температуре 35^{O}C замедляются процессы массообмена между клеткой и окружающей средой, кроме того при высокой температуре крайне сложно обеспечить насыщение сточной жидкости кислородом. Исходя из этого, объёмы компактной установки рассчитываются на температуру самого неблагоприятного холодного периода года, а расчёт системы насыщения сточной жидкости кислородом производится на самый неблагоприятный теплый период года. Если при эксплуатации фактическая температура сточной жидкости снижается ниже расчётной, то добиться требуемой степени очистки стоков без их подогрева невозможно. В таком случае приходится на стадии эксплуатации решать вопрос подогрева стоков горячим воздухом, горячей водой (теплообменники «труба в трубе»), острым паром, нагнетаемым инжектором или электрическими тэнами.

Не менее важной проблемой, существующей при проектировании компактных установок, является отсутствие фактических показателей сточной жидкости (БПК, взвешенные вещества, аммонийный азот, фосфор, температура и pH), которые необходимы для расчёта объёмов сооружений и подбора оборудования. В случае проектирования очистных сооружений для населенных пунктов, имеющих канализационную сеть, определить качество сточной жидкости можно опытным путем, отбирая в течение определенного периода сточную жидкость в главной насосной станций, куда поступают как хозяйственно-бытовые стоки населенного пункта, так производственные стоки предприятий. Для расчёта компактных установок от индивидуальных объектов, не имеющих сброса сточной жидкости, значения показателей можно ориентировочно рассчитать по таблице 25 СНиП 2.04.03 - 85 (Канализация. Наружные сети и сооружения 1986 г.) с учетом фактического удельного водопотребления воды. Величину pH можно принимать равным 7,2-7,6, такое значение характерно для любых хозяйственно-бытовых стоков в какой бы стране не находился объект по очистке стоков. Значение температуры сточной жидкости зависит от многих факторов: района проектирования, источника образования сточной жидкости, протяженности канализационной сети, наличия горячего водоснабжения малого населенного пункта, кемпинга, туристической базы или другого какого-либо объекта. При отсутствии этих данных расчётную температуру на стадии проектирования следует принимать не ниже 15^{O}C для зимнего периода и не выше 25^{O}C для летнего

период года и обеспечивать эту температуру при эксплуатации установки. Если в производственных условиях температура сочной жидкости окажется ниже 15^{O}C, то потребуется организовать её подогрев. Для районов Западной и Восточной Сибири, а также районов, приравненных к Крайнему Северу, установки по подогреву сточной жидкости необходимо предусматривать на стадии проектирования.

Примерные показатели сточной жидкости, поступающей на компактные установки от жилой застройки, а также установленные для этих объектов значения ПДК на сброс стоков в водоём, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Примерные показатели хозяйственно-бытовых стоков, поступающих в компактную установку

Table 1. Estimates of sewage flowing into a compact unit

Показатель сточной жидкости	Значение показателя	ПДК очищенной сточной жидкости при сбросе в рыбо-хозяйственный водоём I категории
Взвешенные вещества, мг/л	200	3
БПК, мг/л	250	4
Азот аммонийный (по N), мг/л	30	0,4
Фосфор (по P), мг/л	4	0,2
pH	7,2	6,5-8,5
Расчётная температура сточной жидкости, ^{O}C		
✓ зимой	15	не более 40
✓ летом	20	не более 40

Для компактных установок необходимо в обязательном порядке предусматривать сооружения для стабилизации осадка в аэробных или анаэробных условиях. Стабилизация осадка необходима для создания комфортных условий в помещении павильона компактной установки. Необработанный осадок быстро загнивает и выделяет в окружающую среду сероводород, индол, меркаптаны, аммиак, которые вызывают ряд негативных последствий. Во-первых, перечисленные газы относятся к канцерогенным, при их вдыхании у человека с течением времени развивается профессиональное заболевание – цирроз печени. Во-вторых, система автоматизации быстро выходит из строя из-за воздействия агрессивной среды на контакты датчиков-контролеров. В-третьих, при аэробной или анаэробной обработке осадка примерно на 30 % снижается его масса по сухому веществу.

Удобрительные свойства осадка городских сточных вод известны давно и не подлежат сомнению. По воздействию на сельскохозяйственные культуры осадок сравним с конским или коровьим навозом, однако он обсеменен яйцами гельминтов. К современным и апробированным в настоящее время методам обеззараживания осадков, относятся: препарат ПУРОЛАТ-БИНГСТИ, нагревание и компостирование. Выбор метода обеззараживания осуществляется Заказчиком строительства компактной установки. После обработки осадок обезвоживается до влажности 70-75 % и может использоваться в качестве органоминерального удобрения. Чаще всего для обезвоживания применяется естественный способ на иловых площадках в специальных мешках или геотубах.

Особенности эксплуатации компактной установки

Запуск компактной установки начинается с наращивания активного ила. Наращивание может производится двумя способами. Согласно первому способу перед запуском установки в эксплуатацию в отделение биологической очистки стоков вводится активный ил, привезенный из соседних сооружений, можно использовать донный ил из реки, озера или болота. В течение 3-5 суток ил только аэрируется, а через 5 суток начинают постепенное наращивание гидравлической нагрузки; в первый день запускают примерно 10 % от суточного количества сточной жидкости, во второй 20 % и так далее, ежедневно увеличивая нагрузку на 10%. Примерно через 10 суток сточную жидкость можно пустить на проток. Согласно второму способу активный ил наращивается на загрязнениях поступающей сточной жидкости. С этой целью одно отделение компактной установки (если она состоит из двух отделений) отключается на наращивание ила. Это отделение заполняют сточной жидкостью и начинают её аэрирование. Примерно через трое суток в сточной жидкости появляются зооглейные скопления, состоящие из мелкодисперсных частиц минерального и органического происхождения, заселенных бактериями. На четвертые сутки в это отделение аэротенка вводят сточную жидкость в количестве 10 % от суточной гидравлической нагрузки на это отделение. В дальнейшем ежесуточно добавляется по 10 %. Через 10 суток сточную жидкость пускают через аэротенк на проток. Запуск компактной установки, как правило,

осуществляют в теплый период года, наиболее благоприятный для проведения наладочных работ.

Авторам настоящей работы пришлось принять участие в изучении причин неудовлетворительной работы, введенной в 2015 году в эксплуатацию компактной установки, имеющей современную технологию очистки стоков и классический вариант обработки и обезвоживания осадка. По результатам изучения проектно-сметной документации, анализа данных лабораторно-производственного контроля, детального обследования технического состояния компактной установки и ознакомления с проводимыми наладчиками настройками технологического режима необходимо было разработать мероприятия по устранению причин, препятствующих достижению качественной очистки стоков, которая бы отвечала требованиям на сброс в рыбо-хозяйственный водоём первой категории. Ниже приводится описание технологической схемы современной компактной установки, построенной в рабочем посёлке Маслянино Новосибирской области, отмечаются выявленные проектные недоработки и указываются способы их устранения.

Компактная установка предназначена для очистки бытовых стоков небольшого посёлка, единственным предприятием которого является молокоперерабатывающий завод. Установка запроектирована фирмой «Ди-Ар-Си Строй Групп» и рассчитана на пропуск сточной жидкости в количестве 1000 м^3/сут. Установку ввели в эксплуатацию по акту государственной комиссии в октябре 2015 года. К сожалению, наладчикам в течение 8 месяцев не удавалось достичь проектных показателей по: взвешенным веществам 2 мг/л, БПК$_{пол}$ 3 мг/л, азоту аммония 0,4 мг/л, азоту нитратов 9 мг/л, азоту нитритов 0,08 мг/л. На рисунке представлен павильон компактной установки.

Компактная установка является станцией полной биологической очистки сточных вод. Проектом предусмотрено три автономно работающие технологические линии, каждая рассчитана на приём стоков в количестве 14 м^3/час. Сточная жидкость каждой технологической линии проходит последовательно устройство фильтрующее самоочищающееся (УФС), резервуар-усреднитель, аэротенк с зоной нитри – денитрификацией, вторичный отстойник, биореактор для первой ступени доочистки, скорые напорные фильтры для второй ступени доочистки, установку ультрафиолетового обеззараживания воды (УФО). Фосфор удаляется на стадии доочистки в биореактор реагентным способом. Образующийся избыточный активный обрабатывается в аэробном стабилизаторе, сгущается в уплотнителе и обезвоживается на шнековом фильтр-прессе. Обезвоженный осадок не дегельминтизируется, поэтому вывозится на полигон твердых бытовых отходов.

Рис. 1. Павильон очистных сооружений канализации рабочего посёлка Маслянино Новосибирской области

Fig. 1. Pavilion of sewage treatment facilities in the working village Maslyanino Novosibirsk region

В здании компактной установки размещены: комната отдыха для персонала лаборатории, помещение для механической очистки стоков, цех механического обезвоживания осадка, емкости приготовления коагулянта или флокулянта, помещение, где размещены воздуходувки, электрощитовая, санитарный узел.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В результате выполненной работы удалось выявить причины, из-за которых невозможно было достичь эффективной работы установки и на основании этого разработать мероприятия, которые позволят после их реализации в дальнейшем

обеспечить требуемую степень очистки стоков. Ниже приводится перечень причин, сдерживающих нормальную работу сооружений, и рекомендации по их устранению.

1. Поверочный расчёт показал, что объём запроектированного резервуара-усреднителя недостаточен для усреднения стоков, поступающих из посёлка; вместо необходимых 18 часов сточная жидкость усредняется лишь 6 часов. Ситуация усугубляется ещё и тем, что в резервуары-усреднители в залповом режиме сбрасываются стоки после регенерации ершей биореакторов. Поэтому рекомендовано увеличить рабочий объём резервуаров на 100 м^3.

2. Не менее важной, а может быть, самой важной является проблема низкой температуры поступающей сточной жидкости особенно в зимний период. Охлаждение начинается в канализационной сети, дальнейшее охлаждение сточной жидкости происходит при очистке сточной жидкости, в самый холодный месяц она опускается 5-6^{O}C. Казалось бы, благодаря отапливаемому павильону стоки должны согреваться в процессе очистки, однако они продолжают охлаждаться из-за особенностей конструкции компактной установки. Как удалось выяснить в процессе детального обследования технического состояния объекта, охлаждение стоков в канализационных сетях происходит в результате большого контакта сточной жидкость с поверхностью труб, а в компактной из-за неудовлетворительной теплоизоляции стенок сооружений (резервуара-усреднителя, аэротенка, аэробного стабилизатора, вторичных отстойников и биореакторов). Более того, открытая коническая часть вторичных отстойников, выполненная из металла, в зимний период вообще контактирует с воздухом, который имеет температуру 1-2^{O}C. Было рекомендовано выполнить максимально возможное утепление стенок сооружений и предусмотреть узел подогрева сточной жидкости электротэном или горячей водой по системе «труба в трубе».

3. На работу компактной установки существенное влияние оказывает неэффективная регенерация носителей прикрепленных микроорганизмов (ершей), установленных в денитрификторах и аэробной зоне, а также в биореакторах первой ступени доочистки. Нормальная регенерация ершей при увеличении интенсивности аэрации в 5-10 раз, поэтому в момент регенерации прекращается подача во все без исключения сооружения (зону аэротенков, нитрификатров, биореакторов, эрлифты вторичных отстойников), так как предусмотрена только одна воздуходувка рабочая и одна резервная. Рекомендовано предусмотреть две воздуходувки, одна из них рабочая, только для регенерации ершей в зонах денитрификатров, аэротенков и биореактров.

4. Отсутствие внутреннего контура циркуляции активного ила в системе нитрификатор-денитрификатор не позволяет снизить концентрацию азота аммонийного и нитратов до ПДК (азот аммония 0,4 мг/л и нитраты 9 мг/л,) при исходной концентрации азота аммонийного 35-45 мг/л. Рекомендуется осуществить подачу нитрифицированного активного ила из конца нитрификатора в начало денитрификатора в объёме 80 % от суточного расхода сточной жидкости.

5. Сброс стоков после регенерации биореактора первой ступени доочистки в голову ОСК резко увеличивает гидравлическую нагрузку на сооружения биологической очистки и снижают эффективность их работы из-за недостаточного объёма резервуара-усреднителя. Как уже отмечалось в п. 1 рекомендовано увеличить объём резервуара-усреднителя на 100 м^3.

6. Серьёзной проблемой для нормальной работы компактной установки является недостаточная производительность эрлифтов вторичных отстойников, что приводит к повышению уровня стояния активного ила при максимальном притоке и провоцирует его вынос из отстойников. Рекомендовано оборудовать эрлифты контрольно-измерительными приборами, которые позволят регулировать откачку циркулирующего нитрифицированного активного ила по внешнему контуру.

7. Общим замечанием по всему комплексу очистки сточной жидкости является отсутствие приборов контроля учёта расхода сточной жидкости и циркулирующего активного ила, фиксации уровня стояния активного ила и изменения азота и фосфора на стадии биологической очистки и доочистки стоков затрудняет отладку сооружений на проектный режим работы. Рекомендовано площадку очистных сооружений доукомплектовать недостающим оборудованием и приборами.

8. К числу основных проблем данного объекта можно отнести и не укомплектованность лаборатории современным оборудованием, приборами, посудой, реактивами и штатами. На момент проведения обследования полный химический анализ сточной жидкости проводился специализированной лабораторией (ЦЛАТИ), которая выдает результаты в лучшем случае через две недели. Такой контроль за работой установки явно нельзя отнести к оперативному.

В таблицу 2 сведены данные по количеству и качеству исходной сточной жидкости и ПДК загрязнений для очищенной сточной жидкости.

Таблица 2.Показатели сточной жидкости рабочего посёлка Маслянино

Table 2.Indicators of sewage rabochego Poselka Maslyanino

Показатель	Единицы измерения	Значение
Расход поступающей сточной жидкости:		
• суточный	$м^3$/сут	1000
• средний часовой	$м^3$/час	42
• максимальный часовой	$м^3$/час	89,4
• минимальный часовой	$м^3$/час	14,28
Коэффициент часовой неравномерности	-	
• максимальный	-	2,12
• минимальный		0,34
Показатели исходной сточной жидкости		
• $БПК_{пол}$	мг/л	350
• взвешенные вещества	-«-	350
• азота аммонийных солей по NH_4^+	-«-	38
• концентрация фосфатов по P_2O_5	-«-	13
• азот общий	-«-	56
• температура	^OC	6-25
Требования к очищенной сточной жидкости		
• $БПК_{пол}$	мг/л	3
• взвешенные вещества	-«-	3
• азот аммонийных солей (по N)	-«-	0,4
• концентрация фосфатов (по P)	-«-	0,2
• нитриты по NO_2^-	-«-	0,08
• нитраты по NO_3^-	-«-	40,1

ВЫВОДЫ

На основании выполненной работы удалось выявить основные причины, сдерживающие запуск ОСК в нормальную эксплуатацию, и разработать мероприятия, позволяющие при гидравлической нагрузке 1000 $м^3$/сут получать сточную жидкость со следующими показателями: $БПК_{пол}$ 2-3 мг/л, взвешенные вещества 1-2 мг/л, азот аммония 0,4 мг/л, если на стадии биологической очистки поддерживать дозу ила 5 г/л, pH 8,5, а температуру сточной жидкости на уровне 16-18^OC.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разумовский Э.С., Медриш Г.Л., Казарян В.А. Очистка и обеззараживание сточных вод малых населенных пунктов// М.: Стройиздат. 2-ое переработанное издание, 1996, 171 с.

2. Колобанов С.К., Ершов А.В., Кигель М.Е. Проектирование очистных сооружений канализации// Киев. Изд. Будівельник. 4-ое переработанное издание, 1977, 224 с.

3. Кигель Е.М. Приемка и наладка канализационных сооружений//Киев. Изд. Будівельник. 1971, 158 с.

4. Проектирование сооружений для очистки сточных вод. Справочное пособие к СНиП 2.04.03-85//М.: Стройиздат, 1991.

REFERENCES

1. Razumovsky E.S., Medrish G.L., Kazaryan V.A. Purification and disinfection of wastewater of small settlements // M .: stroiizdat. 2nd revised edition, 1996, 171 p.

2. Kolobanov S.K., Ershov A.V., Kygel M.E. Designing sewage treatment facilities // Kiev. Ed. Budivelnik. 4th revised edition, 1977, 224 p.

3. Kygel, E.M. Acceptance and adjustment of sewer structures // Kiev. Ed. Budivelnik. 1971, 158 p.

4. Designing facilities for wastewater treatment. Handbook for SNiP 2.04.03-85 // M .: stroiizdat, 1991

.

COMPACT PLANTS FOR CLEANING HOUSEHOLD DRAINS

Ambrosova G.T., Semenova A.P., Kolodeznikova A.P.

Summary An assessment of the advantages and disadvantages of the structures of domestic and foreign compact installations is given. It is noted that compact installations, developed before the 1990s, were intended solely to reduce two indicators in the waste liquid: BOD and suspended solids. In the period from about 1990 to 2005, compact installations began to appear in large quantities, capable of reducing nitrogen in the waste liquid in addition to BOD, suspended solids. The basis of these plants was laid technology biological wastewater treatment by the method of nitrification and denitrification. Modern compact plants are capable of removing soluble and insoluble organic pollutants, as well as biogenic elements (nitrogen and phosphorus) from wastewater. The problems associated with the launch into normal operation of a modern compact installation erected in the working village Maslyanino of the Novosibirsk region, which were identified after a detailed examination of its technical condition and in-depth analysis of laboratory and production control data, and also after performing a calibration calculation of wastewater treatment units, are given treatment and dewatering of sediments. At the object under consideration, the main problems include: low temperature of the waste liquid, both in summer (not higher than 18 ° C) and winter (reduced to 5 ° C) periods of the year, insufficient volume of the reservoir-averager, inefficient and, moreover, destabilizing work of the whole complex carrier regeneration attached microorganisms located in the zones of denitrifiers and aeration tanks, as well as bioreactors designed for the purification of wastewater. Commented on the proposed recommendations to eliminate existing problems in order to achieve the required quality of wastewater treatment.

Key words. Compact unit, waste liquid, temperature effect, nitrogen, phosphorus, operation features.

УДК 620.197

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ АНОДНЫХ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ

Зенцов В.Н., Асташина М.В., Лапшакова И.В.

ФГОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»
450044, г. Уфа, Космонавтов 1,aqua_ufa@mail.ru

Аннотация. Анодные заземлители служат для подачи тока в грунт при защите подземного сооружения. Они должны обладать простотой установки, большим сроком службы и наименьшей стоимостью материала. Изучены химический состав и технические характеристики отвала Башкирского медно-серного комбината (БМСК). Предложены составы активатора БМСК для магниевых и цинковых анодных заземлителей. Дана сравнительная характеристика глубинных анодных заземлителей и анодных заземлителей малого заложения. Представлена конструкция анодных заземлителей малого заложения с активатором БСМК. Введение в смесь в активатора гипса, глины, глауберовой соли улучшает качество анодных заземлителей. Использование анодного заземлителя малого заложения с активатором БМСК позволит повысить надежность и долговечность системы катодной защиты, уменьшить затраты на сборку и монтаж.

Ключевые слова: глубинный анодный заземлитель, анодный заземлитель малого заложения, катодная защита, активатор анодных заземлителей.

ВВЕДЕНИЕ

Внешняя поверхность подземных металлических сооружений подвергается электрохимической коррозии, которая в зависимости от условий может быть вызвана взаимодействием наружной поверхности металла с почвой или грунтом (почвенная коррозия) или взаимодействием на металл блуждающих токов (коррозия блуждающими токами, электорокоррозия).

Как известно, одними из главных составляющих средств катодной защиты подземных сооружений и коммуникаций от коррозии являются анодные заземлители. До определенного времени их изготавливали преимущественно из остатков металлических конструкций, арматуры и другого металлолома. Такой подход не способствовал точному прогнозированию свойств изготавливаемого анода и степени катодной защиты. Кроме того, решение проблемы долговечности анодных заземлителей при стекании с них постоянного тока могло идти по единственному пути – замена стали иными материалами [1-6].

Условия работы анодного заземлителя существенно отличаются от условий работы остальных узлов системы катодной защиты. Это обусловлено тем, что все металлические элементы заземлителя находятся под положительным потенциалом относительно грунта. Поэтому при недостаточно высоком качестве изоляции или ухудшении ее качества в процессе эксплуатации эти элементы подвергаются электрокоррозии стекающим с них током [4].

ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ АНОДНОГО ЗАЗЕМЛИТЕЛЯ

При выборе материалов для анодов в установках катодной защиты часто останавливаются на наиболее простом и доступном материале, который не был бы дорогостоящими и не требовал бы частой замены[1].

Таблица 1. Состав анодных заземлителей
Table 1. Composition of anode earthing

Удельное сопротивление грунта ρ_T, Ом·м	Масса активатора, 100%						
	Магниевые аноды				Цинковые аноды		
	Гипс, %	Бентонит, %	Трепел, %	Na_2SO_4, %	Гипс, %	Бентонит, %	Na_2SO_4, %
До 20	65	15	15	5	25	75	-
	25	75	-	-	50	45	5
От 20 до 100	70	10	15	5	75	20	5
	75	20	-	5	-	-	-
	50	40	-	10	-	-	-
Свыше 100	65	10	10	15	-	-	-
	25	50	-	25	-	-	-

Одним из таких материалов, отвечающий всем выше перечисленным требованиям является отвал Башкирского медно-серного комбината (БМСК). Удельное сопротивление сухого отвала определенное по четырехэлектродной схеме и составляет 20 Ом·м, pH водной вытяжки 3,5 – 4,5. При влажности 25% и более удельное сопротивление отвала резко снижается и не превышает 1,0 Ом·м.

Химический состав отвала включает в себя до 30% сернистых соединений, а также в небольших количествах медь, цинк, вольфрам, молибден, свинец, кобальт, кадмий и некоторые другие металлы. Плотность отвала БМСК (в дальнейшем активатор БМСК) составляет 1,9 г/см^3 [7-11].

В таблице 1 приведены типовые составы активатора для магниевых и цинковых анодных заземлителей.

Глубинные анодные заземлители

Существует сотни типоразмеров анодных заземлителей, каждый из которых выполняет определенную функцию. Для защиты от коррозии различных объектов и сооружений в различных условиях эксплуатации применяют различные типы анодных заземлителей с активатором. Наиболее широко применяемые скважные или глубинные анодные заземлители (рис. 1) [12].

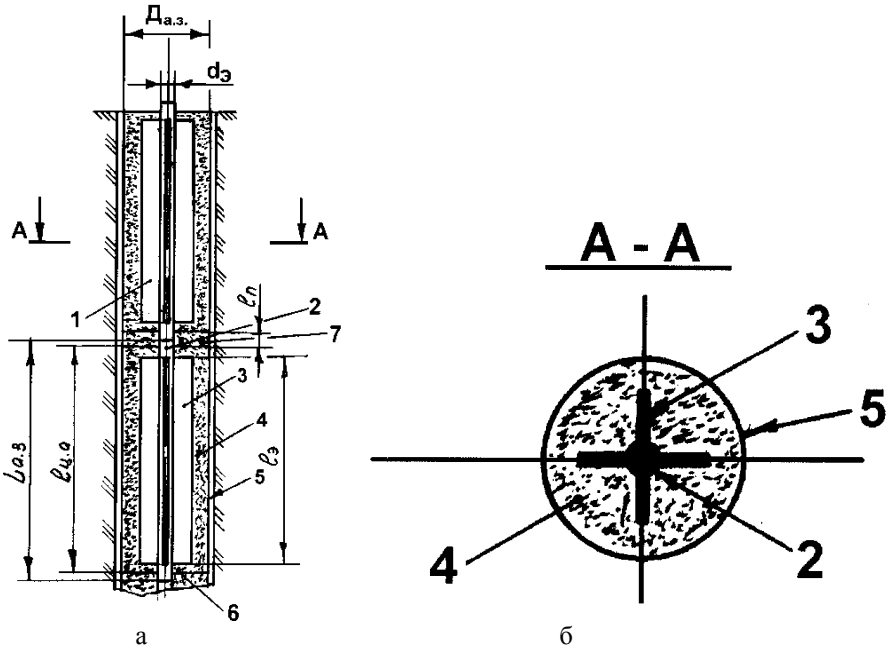


Рис. 1. – Глубинный анодный заземлитель: а – общий вид; б – сечение А – А.:1 – анодный заземлитель; 2 – центральный металлический электрод; 3 – длинномерные пластины; 4 – слой активатора; 5 – цилиндр; 6 – торцы; 7 – промежутки между торцами цилиндра.

Fig. 1. - Depth anode earthing device: a - general view; b - section A-A .: 1 - anodic earth electrode; 2 - central metal electrode; 3 - long plates; 4 - activator layer; 5 - cylinder; 6 - end faces; 7 - gaps among ends of the cylinder

Глубинные анодные заземлители имеют такие достоинства, как меньшая зависимость сопротивления от атмосферных осадков и меньшие размеры площадки под заземление. Существенными недостатками является трудность выполнения заземления ввиду необходимости забивки труб на глубину до 40 м, а также значительные потери электрического тока, так как анодный заземлитель находится за значительном расстоянии от линии трубопровода при работе всей системы катодной защиты. Кроме того, стекая с глубинного заземлителя, электрический ток может «натекать» на подземные сооружения находящиеся рядом с защищаемым объектом. Глубинные анодные заземлители конструктивно достаточно металлоемкие, так как содержат две концентрически расположенные стальные трубы. [6, 13-16].

Анодные заземлители малого заложения с активатором БСМК

Было предложено использовать анодные заземлители малого заложения с активатором БСМК. Они представлют собой вертикальный анодный заземлитель длиной $L_{а.з}$=825 мм; длина цилиндра активатора $L_{ц.а}$=790 мм; диаметр цилиндра активатора $D_{а.з.}$=123 мм; диаметр электрода $d_э$=30 мм; длина элемента $l_э$=700 мм (рис.2).

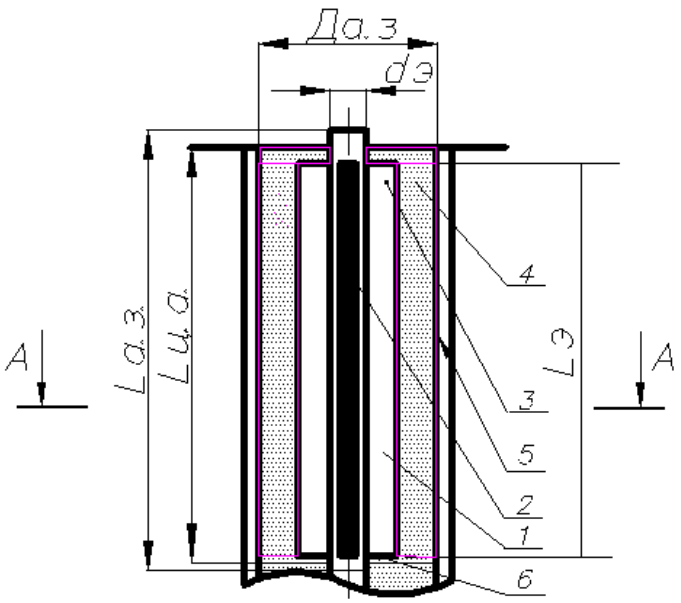


Рис. 2. – Анодный заземлитель малого заложения:1 – анодный заземлитель; 2 – центральный металлический электрод; 3 – длинномерные пластины; 4 – слой активатора; 5 – цилиндр; 6 – торцы.

Fig. 2. - Anode grounding device of small laying: 1 - anodic earth electrode; 2 - central metal electrode; 3 - long plates; 4 - activator layer; 5 - cylinder; 6 - end faces

Полной заводской готовности к применению анодный заземлитель малого заложения состоит из анодного заземлителя 1, центрального металлического электрода 2, металлических элементов в виде длинномерных пластин 3. Электрод 2 и элементы 3 окружены слоем активатора 4 в виде цилиндра 5 с торцами 6.

Элементы 3 закреплены вдоль образующих электрода 2 равномерно по окружности и имеют с электродом 2 гарантированную электрическую и механическую связи. Электроды 2 анодных заземлителей 1 соединены между собой и образуют единый электрический проводник и равнопрочный по длине стержень. Промежутки 7 между торцами цилиндров 5 активатора 4 заполнены активатором БСМК 4 вплоть до поверхности цилиндров 5. Активатор БСМК 4 обладает значительной адгезией по отношению к металлу электрода 2 и элементов 3.

Добавление в смесь активатора гипса способствует равномерному износу заземлителя малого заложения. Гипс имеет значительно меньшую адгезию, чем Na_2SO_4 благодаря чему в активаторе поддерживается постоянная концентрация сульфат-ионов. Бентонит и трепел (кизельгур) вводят для поддержания в активаторе влаги, кроме того глина замедляет растворение солей грунтовыми водами, сохраняя постоянную проводимость и удлиняя срок службы активатора.

Глауберова соль ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) дает легкорастворимые соединения с продуктами коррозии, тем самым обеспечивает постоянство потенциала анодного заземлителя и резко уменьшает удельное сопротивление грунта, окружающего его. Путем увеличения в активаторе Na_2SO_4 в высокоомных грунтах можно снизить удельное сопротивление грунта, окружающего протектор. Для магниевых анодов в качестве активатора можно также применить смеси сернокислых солей с глиной (таблица 2) [7, 8, 10, 11].

Таблица 2. Состав активатора
Table 2. Composition of the activator

Состав активатора, %(вес)			
Сернокислый магний	Сернокислый натрий	Сернокислый кальций	Глина
35	-	15	50
20	15	15	50
25	-	25	50

Анодный заземлитель малого заложения собирается из отдельных анодных заземлителей 1, изготовленных на заводе, полностью готовых к применению как в гирлянде глубинного анодного заземлителя, так и отдельно. Подсоединение кабеля к электроду 2 возможно с двух концов, в другом случае один конец глушится изоляцией. Соединение электродов 1 между собой производят при сборке анодного заземлителя малого заложения последовательно. Также последовательно заполняют промежуток 7 шириной l_n между торцами 6 цилиндра 5

активатора 4, активатором 4. Промежуток между поверхностью цилиндра 5 и стенками скважины заполняют гравием, песком и т. п.

При подсоединении анодного заземлителя малого заложения к катодной станции возникает электрический ток между заземлителем и защищаемым сооружением, под воздействием которого протекает электрохимический процесс на анодном заземлителе. Газовые продукты свободно проходят через активатор 4, поскольку он наделен для этого необходимой степенью пористости. Цилиндр 5 активатора 4 увеличивает площадь контакта заземлителя с грунтом. Активатор 4 обладает необходимой прочностью, гарантированно удерживается на электроде 2, за счет его адгезии к металлу, гарантированно обеспечивается и электрический контакт с электродом 2 и элементами 3.

Необходимости в металлическом или из иного материала кожухе для удержания активатора нет. Элементы 3 способствуют равномерному растеканию тока с электрода 2 и в первую очередь подвергаются электрохимической коррозии, защищая тем самым электрод 2, что позволяет выбрать диаметр электрода 2 $d_э$ наименьшим из всех вариантов, что вкупе с отсутствием кожуха, трубчатого элемента как у прототипа, позволяет значительно сэкономить расход металла. Активатор 4 по физико-механическим свойствам подобен асфальту, при низких отрицательных температурах теряет пластичность и склонен к хрупкому излому, к тому же он имеет большую изгибную жесткость, чем его предшественник глубинный анодный заземлитель. А это в свою очередь, уменьшает вероятность возникновения непредвиденных изгибных нагружений при транспортировке и монтаже к прогибу анодного заземлителя 1 и образованию трещины в активаторе 4, оголению электрода 2, и в конечном счете к преждевременному выходу из строя анодного заземлителя малого заложения в целом. Установка элементов 3 в виде длинномерных пластин вдоль образующих электрода 2 позволяет повысить жесткость электрода 2 до необходимого уровня и избегать последствий подобных ситуаций.

ВЫВОДЫ

Защитный эффект при использовании активатора БМСК с цинковым анодом составляет не менее 92% (без активатора 76%). Коэффициент полезного использования анодного заземлителя малого заложения с активатором БМСК составляет 99%(без активатора 40%)

Применение анодных заземлителей малого заложения возможно использовать совместно с катодными станциями трансформаторного и инверторного (высокочастотного) типов, таких ведущих научно-производственный предприятий как ООО ПП «Континиум» г. Уфа. Они позволят повысить надежность и долговечность системы катодной защиты, с малыми затратами на сборку и монтаж, и с высокими качественными характеристиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курас, М. В. Основы коррозии и защита объектов водоснабжения и водоотведения [Текст] : учеб.пособие / М. В. Курас, В. Н. Зенцов, М. С. Клявлин ; Уфим. гос. нефт. техн. ун-т. - Уфа : УГНТУ, 2013. - 141 с.

2. Зенцов В.Н. О методах защиты заземленных сооружений от почвенной коррозии /Лапшакова И.В., Зенцов В.Н.//Проблемы строительного комплекса России. Материалы VI Международной научно-технической конференции при VI Международной специализированной выставке «Строительство, архитектура, коммунальное хозяйство – 2002»/ 2002. С. 169-170.

3. Современные системы защиты от электрохимической коррозии подземных коммуникаций Рахманкулов Д.Л., Кузнецов М.В., Габитов А.И., Зенцов В.Н., Кузнецов А.М. - Уфа, 1999. Том 1 катодная защита густоразветвленной сети подземных трубопроводов.

4. Противокоррозионная защита трубопроводов и резервуаров: Учеб.для вузов/М.В.Кузнецов, В.Ф.Новоселов, П.И.Тугунов, В.Ф.Котов. – М.:Недра, 1992. – 238 с.

5. Зенцов В.Н. О методах защиты заземленных сооружений от почвенной коррозии /Зенцов В.Н., Лапшакова И.В.// Проблемы строительного комплекса России Материалы VI Международной научно-технической конференции при VI Международной специализированной выставке "Строительство, архитектура, коммунальное хозяйство - 2002"/. 2002. С. 169-170.

6. Исторические аспекты разработки и производств анодных заземлителей для защиты от электрохимической коррозии Зенцов В.Н. автореферат дис. ... кандидата технических наук / Уфа, 2000

7. Состав для изготовления анодных заземлителей. Зенцов В.Н., Кузнецов М.В., Абызгильдин Ю.М. патент на изобретение RUS 2229537 23.12.2002.

8. Состав для изготовления анодных заземлителей. Зенцов В.Н., Зенцова Э.В., Пинегина А.Н., Рахманкулов Д.Л патент на изобретение RUS 2299274 12.12.2005.

9. Глубинный анодный заземлитель и активатор глубинного анодного заземлителя. Зенцов В.Н., Исламов Р.Р., Рабаев Р.У., Кускильдин Р.А. патент на изобретение RUS 2452796 28.02.2011.

10. Состав для изготовления анодных заземлителей. Зенцов В.Н., Исламов Р.Р., Рабаев Р.У., Исламов А.Р., Ахметов А.Ф. патент на изобретение RUS 2453633 12.11.2010.

11. Состав для изготовления анодных заземлителей Зенцов В.Н., Ахметов А.Ф., Рабаев Р.У., Исламов Р.Р., Ивушкина Д.В. патент на изобретение RUS 2455393 03.05.2011.

12. Патент РФ №2196190, 10.01.2003. Зенцов В.Н., Акульшин М.Д., Рахманкулов Д.Л., Кузнецов А.М., Соловьев Р.А.Глубинный анодный заземлитель//Патент России №2196190, 2003.

13. Глубинный скважинный анодный заземлитель. Зенцов В.Н., Акульшин М.Д., Кузнецов А.М., Лапшакова И.В Патент на изобретение RUS 2210628, 13.05.2002 .

14. Глубинный анодный заземлитель стержневой (варианты) Зенцов В.Н., Акульшин М.Д., Кузнецов А.М. патент на изобретение RUS 2210629 13.05.2002.

15. Скважинный анодный заземлитель Зенцов В.Н., Акульшин М.Д., Кузнецов А.М., Соловьев Р.А. патент на изобретение RUS 2216608 13.05.2002.

16. Способ повышения качества глубинного анодного заземления и устройство для его осуществления. Зенцов В.Н., Акульшин М.Д., Рахманкулов Д.Л., Пинегина А.Н., Зенцова Э.В., Хайретдинов А.Н. патент на изобретение RUS 2280100 02.02.2005.

17. Зенцов В.Н. Анодные заземлители малого заложения /Лапшакова И.В., Асташина М.В. // Водоснабжение, водоотведение и системы защиты окружающей среды Статьи и тезисы. /2017. С. 181-184.

REFERENCES

1. Kuras M.V. Basics of corrosion and protection of water supply and sanitation facilities. [Text]: textbook / M.V. Kuras, V.N. Zentsov, M.S. Klyavlin; Ufa State Petroleum Technological University. - Ufa: USPTU, 2013. - 141 p.

2. Zentsov V.N. About methods of protection of grounded constructions from soil corrosion / Lapshakova I.V., Zentsov V.N. // Problems of a building complex of Russia. Materials VI International Scientific and Technical Conference at the VI International Specialized Exhibition "Construction, Architecture, Public Utilities - 2002" / 2002. P. 169-170.

3. Modern systems of protection against electrochemical corrosion of underground communications. Rakhmankulov D.L., Kuznetsov M.V., Gabitov A.I., Zentsov V.N., Kuznetsov A.M. - Ufa, 1999. Volume 1. Cathodic protection of a dense branched network of underground pipelines.

4. Anticorrosive protection of pipelines and tanks: Textbook for higher education institutions / M.V. Kuznetsov, V.F. Novoselov, P.I. Tgugunov, V.F.Kotov. - Moscow: Nedra, 1992. - 238 p.

5. Zentsov V.N. On methods of protecting grounded structures from soil corrosion / Zentsov V.N., Lapshakova I.V. // Problems of the Russian construction complex. Materials VI International Scientific and Technical Conference at the VI International specialized exhibition "Construction, Architecture, Public Utilities - 2002". 2002. pp. 169-170.

6. Historical aspects of the development and production of anode earthing switches for protection against electrochemical corrosion. Zentsov V.N. Abstract of the dis. . Candidate of Technical Sciences. - Ufa, 2000.

7. Composition for the manufacture of anode earthing. Zentsov V.N., Kuznetsov M.V., Abyzgildin Yu.M. patent for invention RUS 2229537 23.12.2002.

8. Composition for the manufacture of anode earthing. Zentsov V.N., Zentsova E.V., Pinegina A.N., Rakhmankulov D.L. patent for the invention RUS 2299274 12.12.2005.

9. Depth anode grounding rod and activator of deep anode earthing. Zentsov V.N., Islamov R.R., Rabaev R.U., Kuskildin R.A. patent for invention RUS 2452796 28.02.2011.

10. Composition for the manufacture of anode earthing. Zentsov VN, Islamov RR, Rabayev RU, Islamov AR, Akhmetov AF patent for invention RUS 2453633 12.11.2010

11. Composition for the manufacture of anode grounders Zentsov V.N., Akhmetov A.F., Rabayev R.U., Islam R.R., Ivushkina D.V. patent for invention RUS 2455393 03.05.2011.

12. Patent of the Russian Federation No. 2196190, January 10, 2003. Zentsov V.N., Akulshin M.D., Rakhmankulov D.L., Kuznetsov A.M., Soloviev R.A. A deep anode earth electrode .- Patent of Russia No. 2196190, 2003.

13. Deep Well Anode Ground. Zentsov V.N., Akulshin M.D., Kuznetsov A.M., Lapshakova I.V. Patent for the invention RUS 2210628, May 13, 2002.

14. Deep anodic rod earth rod (variants) Zentsov V.N., Akulshin M.D., Kuznetsov A.M. patent for invention RUS 2210629 05.13.2002.

15. Downhole anode earthing device Zentsov V.N., Akulshin M.D., Kuznetsov A.M., Soloviev R.A. patent for invention RUS 2216608 05.13.2002.

16. Method for improving the quality of the external anomalous earthing and the device for its implementation. Zentsov V.N., Akulshin M.D., Rakhmankulov D.L., Pinegina A.N., Zentsova E.V., Khayretdinov A.N. patent for invention RUS 2280100 02.02.2005.

17. Zentsov V.N. Anode grounding switches of small laying / Lapshakova I.V., Astashina M.V. // Water supply, water disposal and environmental protection systems Articles and abstracts./ 2017. P.p. 181-184/

IMPROVEMENT OF ANODE EARTH CONSTRUCTION

Zentsov V.N., Astashina M.V, Lapshakova I.V.

Summary Anode grounders serve to supply current to the ground while protecting an underground structure. They should have easy installation, long service life and the lowest material cost. The chemical composition and technical characteristics of the Bashkir Copper and Sulfur Combine (BCSC) are studied. Compositions of BCSC activators for magnesium and zinc anode grounders are proposed. The comparative characteristic of deep anodized earthing switches and anode earthing switches of shallow is given. The design of anode earthing switches of small capacity with activator BCSC is presented. The introduction of gypsum, clay, Glauber's salt into the mix improves the quality of anode earthing. The use of an abnormal shallow earthing switch with an activator of the BCSC allows increasing the reliability and durability of the cathodic protection system, reducing the cost of assembly and installation.

Key words: deep anode earthing electrode, anode low earth electrode, cathodic protection, activator of anode earthing.

УДК 628.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ В РАБОТЕ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ МИКРОРАЙОНА «БЕРЁЗОВЫЙ» ГОРОДА ИРКУТСКА И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ

Скибо Д.В., Толстой М.Ю.

Муниципальное унитарное предприятие «Водоканал» г. Иркутска,
664081, г. Иркутск, ул. Станиславского, 2, Россия
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия
d.skibo2013@yandex[1], tolstoi@istu.edu[2]

Аннотация. В данной статье рассмотрены проблемы в работе канализационной насосной станции микрорайона «Берёзовый» города Иркутска. Проанализирована работа и дана оценка существующему техническому состоянию насосной станции, определены причины сбоев в работе насосного оборудования. Произведен расчет гидравлической линии, а также разработано техническое решение для обеспечения необходимых показателей по производительности насосной станции.

Ключевые слова: водоотведение, канализационная насосная станция, трубопроводы, гидравлические потери, сточные воды, эксплуатация.

ВВЕДЕНИЕ

Канализация является важнейшей и неотъемлемой частью коммунальной инфраструктуры для населённых пунктов. Сооружения системы канализации предназначены для организованного приёма и отведения стоков для очистки на специальных очистных станциях с последующим выпуском их в водный объект. Сооружения имеют тесную взаимосвязь, образовывая комплекс технологической последовательности. В состав гидравлического транспорта входит сеть различных самотечных трубопроводов, по которым стоки перемещаются за счет гравитационного воздействия, создаваемого расчетными уклонами. На участках рельефа местности, где в самотечных трубопроводах нормативный уклон выдержать не представляется возможным, возводят канализационные насосные станции (КНС). Функция этого сооружения заключается в приёме сточных вод, подводимых к нему по самотечным коллекторам и перекачивание их специальными фекальными насосами в напорные трубопроводы на более высокие расчетные отметки для дальнейшего транспортирования их в самотечном режиме. Решение о возведение насосных станций на участках канализационных сетей принимается на основе выполненных исследований и технико-экономических обоснований. При проектировании целесообразно учитывать особенности абонентов водоотведения и условий эксплуатации технологического оборудования, а также нормативные требования по защите окружающей среды.

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

В основе исследования проблем, связанных с эксплуатацией канализационной насосной станции микрорайона «Берёзовый» в городе Иркутске, лежит изучение научных изданий и публикаций, а также нормативной и технической документации. Изучение гидравлических зависимостей и практические знания в области водоотведения представлены такими учеными, как Турк В.И., Минаев А.В., Карелин В.Я. [5], Черкасский В. М. [6], Карелин В. Я., Минаев А. В. [7], Чугаев Р.Р. [10], Киселев П.Г., Альтшуль А.Д., Данильченко Н.В., Каспарсон А.А., Кривченко Г.И., Пашков Н.Н., Слисский С.М. [11], Николенко И.В., Рыжаков А.Н. [14], Николенко И.В., Котовская Е.Е. [15].

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Как объект исследования рассматриваются условия эксплуатации КНС микрорайона «Берёзовый» города Иркутска, расположенной в пониженной части рельефа местности на окраине населенного пункта. Площадь жилой застройки микрорайона составляет 37 га с этажностью зданий от двух до девяти этажей. Численность населения, проживающих в населённом пункте, составляет 5000 человек и подпадает под вторую категорию по степени обеспеченности подачи воды на хозяйственно-питьевые нужды. При этом возможно незначительное увеличение численности жителей в микрорайоне. Горячее водоснабжение жилых домов в микрорайоне осуществляется по системе закрытого типа. Водоотведение от жилой застройки осуществляется во внутриплощадочную самотечную хозяйственно-бытовую систему канализации. Сточные хозяйственно-бытовые воды от бассейна водоотведения поступают по самотечной сети трубопроводов в приемный резервуар станции, где подвергаются предварительной механической очистке в специальных процеживателях. Далее стоки перекачиваются рабочими насосами в напорные трубопроводы и подаются по ним в камеру гашения напора (КГН) для последующей транспортировки в самотечном коллекторе на очистные сооружения.

В процессе работы КНС с момента ее ввода в эксплуатацию в 2014 году как обязательного элемента системы канализации микрорайона «Берёзовый» в городе Иркутске многократно фиксируются случаи аварийной остановки. Как

следствие, переход станции в аварийный режим протекает по причине превышения максимально-критических отметок перекачиваемой среды в приемном резервуаре КНС контролируемыми датчиками уровня или срабатывания теплового реле насосов.

Результаты оперативных мероприятий, осуществляемых силами обслуживающей организации, показывают, что во всех инцидентах происходило засорение отбросами подводящих патрубков, корпуса насоса, а также межлопастного канала рабочего колеса. В связи с чем приемный резервуар при работе двух рабочих насосов не опорожняется в расчетное время. При этом заклинивание рабочего колеса не происходит, а также не установлено случаев повреждений электродвигателей насосов межвитковым замыканием. Переполнение сточными водами приемного резервуара в момент работы двух рабочих насосов очевидно и отмечается внезапностью. Происходящее датируется как постоянная проблема с момента полного заселения микрорайона 2015 – 2016 гг. и отмечается с периодичностью 3-5 суток.

В целом ситуацию дисфункции гидравлической линии (насос – напорный трубопровод) можно выразить как эпизодическую, обусловленную воздействием внешних факторов перекачиваемой среды на рабочий орган насоса.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ

КНС в составе наружной системы канализации состоит из наземного павильона с установленным в нем электрооборудованием и подземной части – приемного резервуара с штатно укомплектованного основными насосными агрегатами, напорными трубопроводами, запорной арматурой и сороудерживающей корзиной для сбора мусора.

Наземная часть КНС

Наземная часть станции представляет собой павильон не заводского исполнения размером 2,9 х 6,15 в плане, изготовленный из металлических профилей, облицованных с наружной и внутренней стороны металлическим профилированным листом толщиной 0,55 мм, размещенный над приемным резервуаром.

Приемный резервуар КНС

Приемный резервуар КНС "Иртыш ЭКО-2-пф2 125/315.282-18,5/4-СП-2,2х5,5У" представляет собой вертикальную стеклопластиковую емкость диаметром 2,2 м и высотой 5,5 м, рабочий объем, перекачиваемой среды которого, складывается из особенностей конструкции рабочих насосов, горизонтальной отметки дна и горизонтальной отметки подводящего самотечного коллектора.

Монтаж резервуара выполнен на горизонтальной отметке земли 467,8 м [1], при этом дно приемного резервуара соответствует отметке 461,0 м. Стены приямка, образованного в связи с недостатком высоты емкости в 1,6 м по отношению к отметке земли, выполнены бетонными блоками. Отметка пола внутреннего помещения павильона КНС соответствует 468,1 м. Самотечный коллектор, подводящий сточные воды к КНС имеет технологическое подключение к приемному резервуару на отметке лотка 463,6 м. Входной патрубок напорного трубопровода и ось рабочего колеса насоса расположены на отметке 461,2 м.

Имея разницу горизонтальных отметок – 1,635 м, определяемых из условий показателя H2 min – 965 мм таблица 1, необходимым для охлаждения электродвигателя насоса [2; 3; 4] и отметки подводящего самотечного коллектора рабочий объем емкости составит – 6,49 м^3, при этом объем стоков, поступающих на станцию в час максимального водопотребления по самотечному коллектору диаметром – 300 мм составляет – 32.85 л/с, со средней скоростью потока – 2,53 м/с. Расчетные скорости сточных вод в прозорах решеток механической очистки КНС для обеспечения эффективного процеживания согласно [5; 6; 7] необходимо принимать не более 1 м/с.

Согласно [5] минимально допустимое время заполнения рабочего объема приемного резервуара КНС составляет не менее 5-ти минут. Следовательно, время наполнения рабочего объема приемного резервуара в час максимального притока будет составлять – 3,3 минуты. При этом производительность одного рабочего насоса, входящего в состав КНС таблица 2, равна – 47, 2 л/с. В связи с чем рабочий объем приемного резервуара должен составлять не менее 9,86 м^3.

Таблица 1. Габаритные размеры опускного устройства для погружного насоса «Иртыш ПФ2 125/315-22/4» [2]

Table 1. Overall dimensions of the lowering device for submersible pump «Irtysh PF2 125 / 315-22 / 4» [2]

Показатель	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	B2	B3
мм,	1165	528,5	264	190	310	142	500	250	350
Показатель	B4	B5	H5	H6	H7	D3	D4	C	H2 min
мм,	410	260	346	200	591	26	18	76	965

Основное насосное оборудование КНС

Погружной электронасос «Иртыш ПФ2 125/315.290-22/4» таблица 2 предназначен для перекачивания бытовых и промышленных загрязнённых жидкостей (фекальных, сточных вод, промышленных отходов) с водородным

показателем pH=6,0…9,0, плотностью до 1100 кг/м³, температурой до 323К (50°С), с содержанием различных неабразивных взвешенных частиц максимальным размером согласно таблицы 12, включая коротковолокнистые, концентрацией до 2% по массе, абразивных взвешенных частиц не более 1% по объёму, размером до 5мм и микротвердостью не более 9000 МПа [2].

Таблица 2. Основные технические характеристики насоса ПФ2 125/315.290 – 22/4 [2]
Table 2. The main technical characteristics of the pump PF2 125 / 315.290 - 22/4 [2]

Обозначение насоса Иртыш	Мощность, кВт	Частота вращения, об /мин	Подача, м3/ч	Напор, м	Минимальный размер проточной части рабочего колеса, мм	Максимальный размер частиц, мм	КПД насоса, % не менее	Масса, кг
ПФ2 125/ 315-290-22/4	22	1500	170	18	65	50	65	560

Электродвигатель изготовлен в специальном исполнении: герметичный, встроенного типа, трехфазный и имеет коротко-замкнутый ротор, также оснащен термодатчиками, встроенными в обмотки статора, по отношению к гидравлической части имеет вертикальное расположение, охлаждение осуществляется в перекачиваемую среду [2].

Сороудерживающее устройство

Сороудерживающее устройство в КНС представляет собой корзину для сбора мусора, транспортируемого сточными водами в приемный резервуар. Корпус данного устройства имеет внутренний объем 125 л, выполненный из прутков нержавеющей стали с прозорами 20 мм и размещен на вертикальных направляющих, позволяющих поднимать его на поверхность для опорожнения. Функциональное назначение данного устройства заключается в процеживании сточных вод и удерживании крупного мусора в корпусе корзины.

Напорный трубопровод

Напорные трубопроводы в составе КНС представляют собой гидротехнические сооружения, которые транспортируют перекачиваемую среду от насосов к месту ее выпуска. Работа напорного трубопровода обусловлена зависимостью от рабочих параметров насоса, а также потерями напора, вызванными силами трения при перекачивании жидкости.

Сточные воды от КНС поступают в КГН по напорным трубопроводам протяженностью 550 м, расположенных на глубине 3 – 3,5 м в грунте, выполненных из полиэтиленовых труб марки ПЭ100 диаметром 315мм с толщиной стенки 18,7 мм по [9]. Трубопроводы выполнены в две нитки и имеют расположение верхней части трубы на горизонтальной отметке 464,7 м в зоне технологического подключения к резервуару КНС, при этом горизонтальная отметка трубы в КГН соответствует 478,85 м. К характерным конструктивным особенностям участка гидравлической линии следует отнести разность значений внутреннего диаметра напорного патрубка 125 мм, расположенного в приемном резервуаре КНС и внутреннего диаметра напорного трубопровода 277 мм. Переход между диаметрами осуществлен в приемном резервуаре посредством муфты.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Установление причин формирования периодической дисфункции гидравлической линии (насос – напорный трубопровод) в процессе работы КНС микрорайона «Берёзовый» города Иркутска.

Разработка технического решения, направленного на снижение аварийности на КНС, повышение ее надежности и эффективности, а также улучшение экологической обстановки прилегающих территорий.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение гидравлических потерь в канализационном напорном трубопроводе диаметром –277мм. (от КНС до КГН);

Определение гидравлических потерь в КНС;

Определение условий совместной работы насосов и трубопроводов КНС.

МЕТОДИКА, РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

Определение потерь напора на преодоление гидравлических сопротивлений в трубопроводе диаметром – 277мм (от КНС до КГН)

Потери напора на преодоление гидравлических сопротивлений h_f складываются из:

–потерь напора по длине потока (линейные) – h_l (потери, затрачиваемые на преодоление сопротивления трения);

–местных потерь напора – h_j (потери, вызываемые резким изменением конфигурации границ потока).

Полные потери напора – h_f равны сумме всех потерь:

$$h_f = h_l + \Sigma h_j$$

Определение величины потери напора h_l для заданного участка трубопровода и гидравлический режим движения жидкости в трубопроводе будет выглядеть как:

$$h_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{\upsilon^2}{2g},$$

где Q – производительность насоса = 170 м^3/ч 47,22 л/с;

L – длина напорного трубопровода = 550 м;

d – диаметр напорного трубопровода = 277 мм;

Кинематический коэффициент вязкости для воды при температуре 15℃ согласно [10] соответствует v = 0,01156 Ст.

Средняя скорость движения воды в трубопроводе вычисляется по формуле [10]:

$$\upsilon = \frac{4Q}{\pi d^2} = 0{,}78 \ ^м/_с$$

Предельные числа Рейнольдса определены в соответствии с формулой А.Д.Альштуля [10]:

$$ReD = \frac{\upsilon D}{v} = 1{,}86 \cdot 10^5$$

Согласно значений Re_D , величина λ вычисляется по формуле Блазиуса [10]:

$$\lambda = \frac{0{,}3164}{Re_D^{\,0{,}25}} = 0{,}015$$

Потери напора по длине заданного трубопровода составляют из следующих значений:

$$h_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{\upsilon^2}{2g} = 0{,}93 \text{ м}$$

Учитывая нормативные требования [8], скорость движения бытовых сточных вод в напорных канализационных трубопроводах следует принимать не менее 1 м/с.

Определение местных потерь напора h_j

$$h_j = \zeta_j \frac{\upsilon^2}{2g}$$

Напорный трубопровод в плане выполнен прямолинейно, однако имеет изменение направления под прямым углом посредством штатных приварных трубных отводов из полиэтилена.

В зоне плавного поворота потока, образованного трубным отводом, коэффициент местного сопротивления ζ_a, определяется из значений [11]:

$$\xi_a = \xi_{90^\circ} \cdot a = 0{,}318 \cdot 1 = 0{,}318$$

где ξ_{90° – коэффициент сопротивления при повороте на 90˚;

a – коэффициент, зависящий от угла поворота.

Коэффициент ξ_{90° зависит от d/R (отношение радиуса закругления к диаметру трубы) и коэффициента сопротивления по длине трубопровода λ и определен из формулы А.Д. Альтшуля [11]:

$$\xi_{90^\circ} = [0{,}20 + 0{,}001(100\lambda)^8]\sqrt{\frac{d}{R}} = 0{,}318$$

$$hj = \zeta_j \frac{\upsilon^2}{2g} = 0{,}03 \text{ м}$$

Таким образом, полные потери напора в напорном трубопроводе диаметром - 277мм составляют:

$$h_f = 0{,}933 \text{ м}$$

Определение потерь напора на преодоление гидравлических сопротивлений в КНС "Иртыш ЭКО-2-пф2 125/315.282-18,5/4-СП-2,2х 5,5У"

Учитывая разницу диаметров напорного трубопровода в КНС и магистральной линии, определение местных потерь напора – h_l в напорной линии диаметром 125 мм будут выглядеть следующим образом:

где Q – производительность насоса = 170 м^3/ч 47,22 л/с;

L – длина трубопровода = 4 м;

d – диаметр напорного трубопровода = 125 мм.

Средняя скорость движения воды в трубопроводе вычисляется по формуле [10]:

$$\upsilon = \frac{4Q}{\pi d^2} = 3{,}84 \ ^м/_с$$

$$ReD = \frac{\upsilon D}{v} = 4{,}15 \cdot 10^5$$

$$\lambda = \frac{0{,}3164}{Re_D^{\,0{,}25}} = 0{,}012$$

Потери напора по длине заданного трубопровода составляют:

$$hl = \lambda \frac{l}{d} \frac{\upsilon^2}{2g} = 0{,}19 \text{ м}$$

Наличие фасонных частей и арматуры на напорном трубопроводе в КНС обуславливают определение местных потерь напора – h_j , а именно:

– зона плавного поворота потока на 90˚ (отводы бесшовные трубные крутоизогнутые – 2 шт.);

– зона запорной арматуры (задвижка – 1 шт.);

– зона обратного клапана – 1 шт.;

– зона внезапного расширения трубопровода.

Данные гидравлические условия в зоне плавного поворота потока в трубном отводе согласно [11] будут выглядеть следующим образом, где коэффициент местного сопротивления ξ_a определяется из зависимости:

$$\xi_a = \xi_{90^\circ} \cdot a = 0{,}288$$

где ξ_{90° – коэффициент сопротивления при повороте на 90˚;

a – коэффициент, зависящий от угла поворота.

$$\xi_{90^\circ} = [(100 \cdot 0{,}012)^8 \cdot 0{,}001 + 0{,}2] \cdot 1{,}41 = 0{,}288$$

Коэффициент местного сопротивления в задвижке согласно [10] соответствует $\xi_з$ – 0,15

Коэффициент местного сопротивления в обратном клапане согласно [10] соответствует $\xi_{кл}$ – 1,6

Коэффициент местного сопротивления в зоне внезапного расширения трубопровода при переходе с диаметра 125 мм на диаметр 277 мм, $h_{вн.р}$ согласно [11] определяется по формуле Борда:

$$\zeta_{вн.р} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right)^2 = 1{,}48$$

$$h_{вн.р} = \zeta_{вн.р} \frac{v_2^2}{2g} = 0{,}046 \text{ м}$$

При этом сумма местных сопротивлений в напорном трубопроводе КНС будет определена из произведения:

$$hj = \zeta_j \frac{v^2}{2g} = 1{,}796 \text{ м}$$

Следовательно, сумма линейных и местных потерь в напорном трубопроводе канализационной станции будет равна: $\Sigma h = h_l + h_j = 1{,}986$ м,

Отсутствие в конструкции всасывающего патрубка насоса конфузорного перехода, а также ввиду незначительной его длинны, определение потерь напора на входе в насос буде иметь вид [11]:

$$h_{вх.тр} = \zeta_{вх.тр} \frac{v^2}{2g} = 0{,}073 \text{ м}$$

где $\zeta_{вх.тр}$ – коэффициент сопротивления при входе в трубу из резервуара [19];

v – средняя скорость движения воды во всасывающем патрубке, определяемая как [10]:

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} = 1{,}69 \text{ м/с}$$

Общие потери напора, вызванные силами трения в трубопроводе КНС и магистральной линии, составляют – 2,992 м.

Геометрическая высота подъема жидкости $H_г$, м, определяемая из разности значений горизонтальных отметок всасывающего патрубка насоса и верхней точки напорного трубопровода КГН вычисляется как: $478{,}85 - 461{,}2 = 17{,}65$ м

Из чего следует, что суммарные потери напора в гидравлической линии, равные – 20,57 м, определяют работу насосов марки «Иртыш ПФ2 125/315-22/4», как крайне не эффективную по производительности в связи с не выполнением обязательного условия: $H_{нас} > H_г + \Sigma h$. Требуемый напор насоса оценивается из следующих показателей:

$$H = H_г + \Sigma h + h_и = 17{,}65 + 3 + 2 = 22{,}21 = 23\text{м}$$

где $h_и$ – 2 м, необходимый напор для обеспечения излива расчетного расхода перекачиваемой среды.

Таким образом, насос марки «Иртыш ПФ2 125/315-22/4» по своим рабочим характеристикам в составе гидравлической линии не способен обеспечить надежную и долговечную эксплуатацию КНС. Основные рабочие параметры лопастных насосов, таких как напор *H*, подача Q, коэффициент полезного действия η, мощность *N* и частота вращения вала рабочего колеса *n*, находятся в определенной зависимости, выражаемой в графической форме. Эксплуатация насоса в пиковых значениях максимально развиваемого напора (15% - запас, заложенный производителем в параметры насоса от его номинальных показателей) обуславливает крайне низкие показатели в диапазоне производительности и соответственно приводит к падению средней скорости. Что в свою очередь отрицательно отражается на способности потока перемещать в гидравлической линии механические включения.

Эти крайне неблагоприятные условия для гидравлического транспорта продуцируют заиливание напорного трубопровода, способствуют уплотнению отбросов в корпусе насоса и в межлопастном канале рабочего колеса, снижая тем самым по нарастающей его производительность. Последовательность этих явлений в совокупности определяют истину в причине систематических аварий на КНС микрорайона «Берёзовый» в городе Иркутске[5; 6; 7; 12; 13].

Учитывая характеристики существующего напорного трубопровода, а также принимая во внимание эксплуатационные и экономические показатели, целесообразно рассматривать замену насоса с большим напором при условии минимальных затрат на реконструкцию КНС.

Проведенный анализ насосного оборудования показал, что насос серии «Иртыш ПФ2 125» отечественного производителя ОДО «Предприятие «Взлёт» (Насосный завод) обладает оптимальными показателями для применения к данному объекту водоотведения. Необходимые рабочие характеристики лежат в пределах насосов ПФ2 125/315.336 – 37/4 и ПФ2 125/315. 320 – 30/4 таблица 3, рисунок 2, при этом избыточный напор целесообразно корректировать. В практике эксплуатации и проектирования насосных станций для увеличения области применения насоса (для уменьшения подачи и напора), а также для достижения более оптимальных его рабочих параметров применяется обточка рабочего колеса.

Таблица 3. Основные технические характеристики насоса ПФ2 125/315. [2]
Table 3. The main technical characteristics of the pump PF2 125/315. [2]

Обозначение насоса Иртыш	Мощность, кВт	Частота вращения, об /мин	Подача, м3/ч	Напор, М	Минимальный размер проточной части рабочего колеса, мм	Максимальный размер частиц, мм	КПД насоса, % не менее	Масса, кг
ПФ2 125/ 315- 336 - 37/4	37	1470	200	32	65	50	49	650
ПФ2 125/ 315- 320 – 30/4	30	1470	180	27	65	50	57	550

Наиболее близким по показателям является насос марки ПФ2 125/315. 320 – 30/4, его напор $H = 27$ м превышает необходимый $H = 23$ м более чем на 15 %, что допускает срезку рабочего колеса.

По данным из каталога производителя ОДО Предприятие «Взлёт» устанавливаем, что расчетная рабочая точка А лежит ниже характеристики Н – Q рабочего колеса с диаметром 320 мм. Следовательно, для того чтобы характеристика Н – Q проходила через точку А необходимо обточить колесо.

Определение коэффициента быстроходности – n_s для рабочего колеса насоса ПФ2 125/315. 320 – 30/4 будет выглядеть как: [5]:

$$n_s = 3{,}65 \cdot \frac{n \cdot \sqrt{Q_p}}{H_p^{3/4}} = 99{,}94$$

где Q_p – производительность, м^3/с.

Коэффициент быстроходности данного центробежного насоса лежит в пределах n_s= 80÷150, характеризуя его как насос с нормальной быстроходностью.

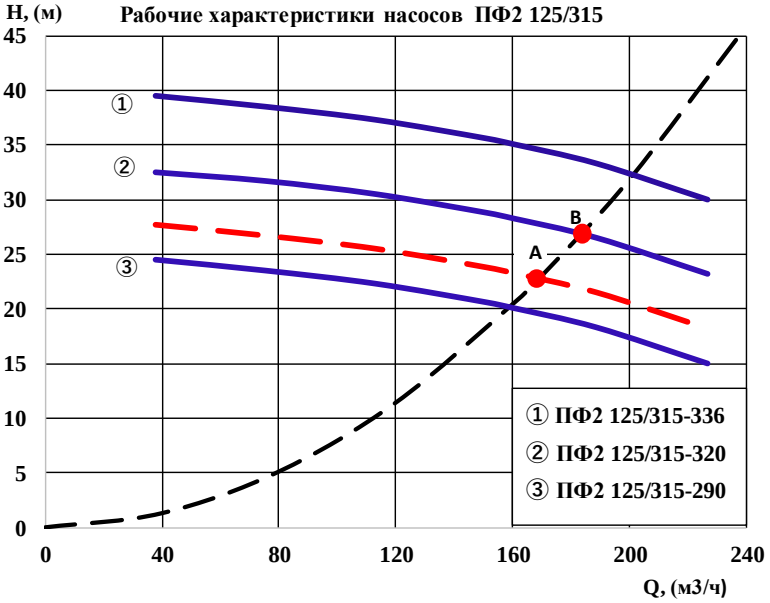


Рис. 1. Рабочие характеристики насосов серии «Иртыш ПФ2 125/315» [2]

Fig. 1. Performance characteristics of the Irtysh PF2 125/315 series pumps [2]

Диаметр обточенного рабочего колеса определяется путём построения кривой проходящей через точку А рисунок 1.

В рабочей точке А с назначенными необходимыми параметрами Q = 170 м^3/ч и Н = 23 м, находится коэффициент определяемый согласно[5] как: $k = \frac{H}{Q^2} = \frac{23}{170^2} = 0.000795$.

Таблица 4. Результаты предварительных вычислений напора Н

Table 4. Results of the preliminary calculations of pressure H

Показатели	Номер точки						
	1	2	3	4	5	6	7
Q, м^3/ч	40	80	120	160	170	200	240
Н = $k \cdot Q^2$	1,3	5,1	11,4	20,4	23	31,8	45,8

Найдем координаты пересечения точки В (Q = 180 м^3/ч, Н = 27 м) и определим диаметр обточенного колеса:

Так как n_s < 150, определяем диаметр обточенного рабочего колеса согласно [5] по формуле:

$$D_{об} = D \cdot \frac{Q_{об}}{Q} = D \cdot \frac{Q_A}{Q_B} = 302{,}2 \text{ мм}$$

Где процент обточки колеса (рисунок 2) составит: 5,6% .

Построения характеристики Q' – H' выполняется по точкам на кривой Q – H, затем производится вычисление величин, определяющих эти точки согласно [5] таблица 5.

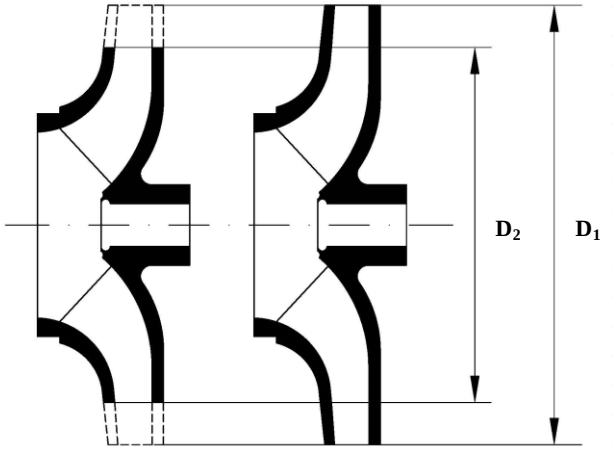


Рис. 2. Срезка рабочего колеса насоса ПФ2 125/315. 320 – 30/4: D_1 – 320 мм; D_2 – 302,2 мм.

Fig. 2. Cutting the impeller pump PF2 125/315. 320 - 30/4: D1 - 320 mm; D2 = 302.2 mm.

Таблица 5. Результаты вычислений показателей характеристики $Q' - H'$
Table 5. Results of the calculations of the characteristic Q' – H'

Наименование показателей	Номер точки						
	1	2	3	4	5	6	7
	Определяющие величины						
$Q_1 = Q \cdot \left(\frac{D_{об}}{D}\right) = Q \cdot \left(\frac{302,2}{320}\right)$	37,8	75,6	113,3	151,1	160	188,9	226,9
$H_1 = H \cdot \left(\frac{D_{об}}{D}\right)^2 = H \cdot \left(\frac{302,2}{320}\right)^2$	27,6	26,8	25,7	24	23,6	21,8	18,7

По координатам Q' и H' на график рисунок 3 наносим точки $1', 2', 3', 4', 5', 6', 7'$, соединив плавной кривой эти точки, получаем кривую $Q' - H'$ насоса с диаметром рабочего колеса $D_{об}$ = 302,2 мм.

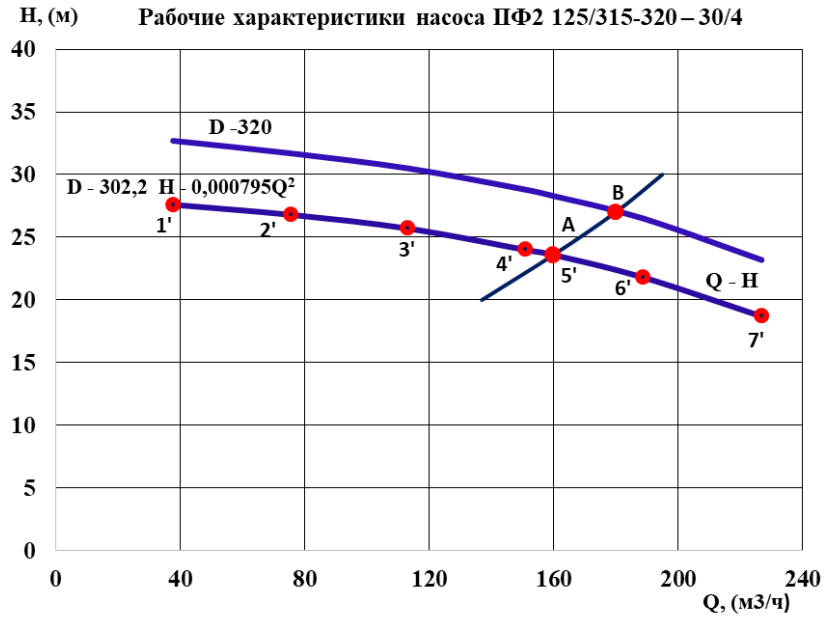


Рис. 3. Рабочие характеристики насоса ПФ2 125/315. 320 – 30/4 после срезки рабочего колеса.

Fig. 3. Performance characteristics of the pump PF2 125/315. 320 - 30/4 after cutting the impeller.

Согласно графически представленных показателей рабочая точка А рисунок 4 находится в зоне пересечения напорной характеристики насоса и гидравлической характеристики трубопровода таблица 6 [5].

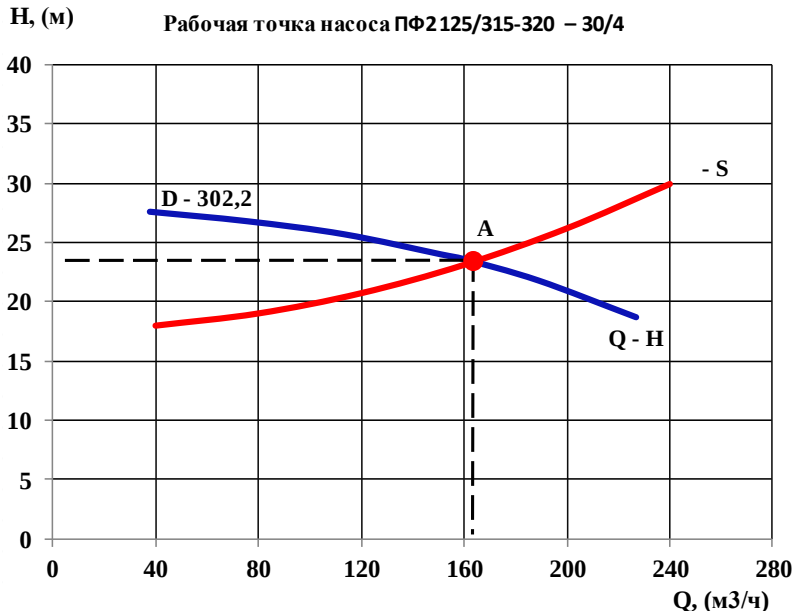


Рис. 4. Характеристика совместной работы насоса и трубопровода.

Fig. 4. Characteristics of the joint operation of the pump and the pipeline.

Координаты QA и HA соответствуют значениям предельной производительности рассматриваемого насоса в заданный трубопровод с характеристикой *S*. Объем перекачиваемой среды согласно показателям QA в рассмотренной характеристики рисунок 4 для насоса ПФ2 125/315. 320 – 30/4 с диаметром обточенного рабочего колеса – 302,2 мм соответствует заданным требованиям для существующего напорного трубопровода в составе КНС микрорайона «Берёзовый» города Иркутска.

Таблица 6. Сводные показатели значений расходов и потерь

Table 6. Summary of costs and losses

№	Наименование показателей	Расход Q´ м³/ч					
		40	80	120	160	200	240
		Определяющие величины					
1	$H_{ст}$	17,65	17,65	17,65	17,65	17,65	17,65
2	$h'_{вс} = h_{вх.тр} \cdot \left(\frac{Q'}{Q_{н.с}}\right)^2 = 0{,}073 \cdot \left(\frac{Q'}{118{,}3}\right)^2$	0,008	0,033	0,075	0,134	0,209	0,3
3	$h'_{напор} = h_{напор} \cdot \left(\frac{Q'}{Q_{н.с}}\right)^2 = 0{,}933 \cdot \left(\frac{Q'}{118{,}3}\right)^2$	0,107	0,427	0,96	1,707	2,667	3,84
4	$h'_{н.с} = h_{н.с} \cdot \left(\frac{Q'}{Q_{н.с}}\right)^2 = 1{,}986 \cdot \left(\frac{Q'}{118{,}3}\right)^2$	0,227	0,908	2,043	3,633	5,676	8,174
м		17,99	19,02	20,73	23,12	26,2	29,94

С достаточной степенью точности можно принять, что КПД насоса уменьшится на 1% на каждые 10% срезки колеса при коэффициенте быстроходности 60 - 200. [5] Следовательно, КПД насоса уменьшится приблизительно на 0,5% .

При этом полезная мощность насоса, сообщаемая подаваемой жидкости, согласно [5] будет иметь следующий вид:

$$N_п = \frac{\rho g \cdot Q \cdot H}{1000} = 9{,}93 \text{ кВт},$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

Q – подача насоса, м³/с;

H – напор насоса, м.

Так как потери энергии в насосе неизбежны, то подводимая к нему энергия должна быть больше полезной. Эти потери учитываются коэффициентом

полезного действия (КПД), а мощность насоса оценивается как:

$$N = \frac{N_п}{\eta} = 17{,}58 \text{ кВт.}$$

Для безаварийной эксплуатации КНС и снижения негативного воздействия на окружающую среду, проведенными исследованиями получен следующий результат:

-установлена причина аварийной остановки КНС;

-определен необходимый рабочий объем приемного резервуара;

-определены гидравлические потери в КНС и напорном трубопроводе;

-определены оптимальные рабочие характеристики основных насосов с учетом существующего напорного трубопровода;

-произведен подбор основных насосов и выполнен расчет срезки рабочего колеса под требуемые характеристики.

Таким образом, дана оценка технического состояния КНС микрорайона «Берёзовый» в городе Иркутске, а также представлено техническое решение, направленное на улучшение ее эксплуатационных показателей. Оценка фактического состояния напорного трубопровода и условий аварийного выпуска КНС микрорайона «Берёзовый» в городе Иркутске будет дана в следующей работе.

ВЫВОДЫ

Надежность и долговечность системы канализации зависит от принятых решений на стадии проектирования, соблюдении нормативных требований при строительстве, а также условий эксплуатации. На участках рельефа местности, где самотечный режим в трубопроводах невозможен, сточные вводы перекачиваются КНС. Эффективность эксплуатации станции зависит от работы основных насосных агрегатов, напорных трубопроводов и дополнительного оборудования. Исследования, направленные на изучение гидравлических режимов работы КНС, а также геологические и гидрологические особенности территории проектирования лежат в основе подбора технологического оборудования и конструктивных решений возводимого сооружения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исполнительная съемка масштаб 1:500
2. http://www.vzlet-omsk.ru/katalog-oborudovaniya Каталог насосного оборудования ОДО Предприятие «Взлет»
3. http://docs.cntd.ru/document/1200101512 ГОСТ 31840-2012 Насосы погружные и агрегаты насосные. Требования безопасности.
4. http://vzlet.nt-rt.ru/images/manuals/pas_pf.pdf Электронасос серии «ИРТЫШ» тип ПФ(ПФс). Руководство по эксплуатации;
5. Турк В.И., Минаев А.В., Карелин В.Я. Насосы и насосные станции. Учебник для вузов. М., Стройиздат, 1976. 304с.
6. Черкасский В. М. Насосы, вентиляторы, компрессоры: Учебник для теплоэнергетических специальностей вузов. — 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Энергоатомиздат, 1984. — 416 с , ил.
7. Карелин В. Я., Минаев А. В. К 22 Насосы и насосные станции: Учебник для вузов.- 3-е изд., перераб. и доп.— М.: ООО "ИД "БАСТЕТ", 2010г. – 448с.
8. http://docs.cntd.ru/document/1200094155 СП 32.13330.2012 Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85 (с Изменением N 1)(дата обращения 26.04.2017 г.)
9. http://docs.cntd.ru/document/gost-18599-2001 ГОСТ 18599-2001. Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия (с Изменением N 1)
10. Чугаев Р.Р. Учебник для вузов. – 5-е изд., репринтное. – М.: ООО «БАСТЕНТ», 2008. – 672 с.; ил.
11. Киселев П.Г., Альтшуль А.Д., Данильченко Н.В., Каспарсон А.А., Кривченко Г.И., Пашков Н.Н., Слисский С.М. Справочник по гидравлическим расчетам /коллектив авторов ; под ред. П.Г. Киселева. — 4-е изд., С74 перераб. и доп. / Репринтное воспроизведение издания 1972 г. — М. : ЭКОЛИТ, 2011. — 312 с. : ил.ISBN 978-5-4365-0013-3
12).Добромыслов А.Я., Кирюханцев Е.Е. Практические рекомендации по проектированию и строительству трубопроводных систем водоснабжения, канализации и противопожарной безопасности, в том числе с применением пластмассовых труб (СНиП 2.04.01-85*, СНиП 21-01-97*, СП 40-102-2000) Под общей ред. А.Я.Добромыслова.-2-е изд. доп. - М.: АВОК-ПРЕСС, 2007.
13.http://docs.cntd.ru/document/1200007490 СП 40-102-2000 Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Общие требования.
14. Николенко И.В., Рыжаков А.Н. Метод оптимизации режимов работы силовых агрегатов насосной станции // Строительство и техногенная безопасность – 2016. - № 5(57). – С. 77-82.
15. 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.

REFERENCES

1. Executive shooting 1: 500 scale
2. Catalog of pumping equipment ODO Enterprise "Vzlet". http://www.vzlet-omsk.ru/katalog-oborudovaniya. (in Russian)

3. GOST 31840-2012 Submersible pumps and pump units. Safety requirements. http://docs.cntd.ru/document/1200101512. (in Russian)

4. Electropump of the "IRTYSH" series type PF (PFs). Manual. http://vzlet.nt-rt.ru/images/manuals/pas_pf.pdf. (in Russian)

5. Turk V.I., Minaev A.V., Karelin V.Ya. Nasosy i nasosnye stantsii. Uchebnik dlya vuzov. Moscow, Stroiizdat. 1976. 304 p. (in Russian)

6. Cherkasskii V. M. Nasosy, ventilyatory, kompressory: Uchebnik dlya teploenergeticheskikh spetsial'nostei vuzov. – 2nd ed., reprocessed and edited – Moscow: Energoatomizdat, 1984. – 416 p. (in Russian)

7. Karelin V.Ya., Minaev A.V. Nasosy i nasosnye stantsii. Uchebnik dlya vuzov. – 3d ed., reprocessed and edited – M .: OOO "ID BASTET", 2010 – 448p. (in Russian)

8. SP 32.13330.2012. Wastewater. Pipelines and wastewater treatment plants. Updated edition SNiP 2.04.03-85 (with edition 1). http://docs.cntd.ru/document/1200094155. (in Russian)

9. GOST 18599-2001. Polyethylene pressure pipes. Specifications (with edition 1). http://docs.cntd.ru/document/gost-18599-2001. (in Russian)

10. Chugaev R.R. Uchebnik dlya vuzov. – 5th ed., reprint. – Moscow: OOO «BASTET», 2008. – 672 p. (in Russian)

11. Kiselev P.G., Al'tshul' A.D., Danil'chenko N.V., Kasparson A.A., Krivchenko G.I., Pashkov N.N., Slisskii S.M. Spravochnik po gidravlicheskim raschetam /kollektiv avtorov ; Editor P.G. Kiseleva. – 4th ed., S74 reprocessed and edited / Reprint edition 1972 – Moscow: EKOLIT, 2011. – 312 p.: ISBN 978-5-4365-0013-3. (in Russian)

12. Dobromyslov A.Y., Kiryukhantsev E.E. Prakticheskie rekomendacii po proektirovaniyu i stroitelstvu truboprovodnyh system vodosnabzheniya, kanalizacii i protivopozharnoj bezopasnosti, v tom chisel s primeneniem plastmassovyh trub (SNiP 2.04.01-85 *, SNIP 21-01-97 *, SP 40-102-2000) Under the general ed. A.Y. Dobromyslova. – 2 nd ed., edited – Moscow: AVOK-PRESS, 2007. (in Russian)

13. SP 40-102-2000 Design and installation of polymeric pipelines for water supply and sewage systems. General requirements. http://docs.cntd.ru/document/1200007490. (in Russian)

14. Nikolenko I.V., Ryzhakov A.N. The method of optimization of operating modes of power units of a pumping station // Construction and industrial safety – 2016. – No. 5 (57). – 77-82 p. (in Russian)

15. Nikolenko I.V., Kotovskaya E.E. Estimation of the energy efficiency of the operation of pumping stations' aggregates, including operating conditions // Construction and industrial safety – 2016. – No. 4 (56). – 103-112 p. (in Russian)

STUDY OF THE PROBLEMS IN WORK OF THE SEWAGE PUMPING STATION OF THE MICRODISTRICT "BERYOZOVIY" OF THE CITY OF IRKUTSK AND THE METHODS OF SOLVING THEM

Skibo D.V., Tolstoy M.Y.

Summary This article observes the problems in work of the sewage pumping station of the microdistrict "Beryozoviy" in the city of Irkutsk. The article gives the analysis of work of the pumping station and the evaluation of the existing technical conditions, determines the reasons for the breakdowns in the pumping equipment. Besides, the article shows the calculations for the hydraulic line and describes the technical solution, which enables to provide the necessary performance indicators for the pumping station.

Key words: sewerage, sewage pumping station, pipelines, hydraulic losses, wastewater, operation.

УДК 514.18, 536.2

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОМАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Конопацкий Е. В., Воронова О. С

ГОУ ВПО Донбасская национальная академия строительства и архитектуры
Адрес: ДНР/ Украина, г. Макеевка, ул. Державина 2
E-mail: e.v.konopatskiy@mail.ru
E-mail: kornilova.oly@mail.ru

Аннотация. В статье проанализированы существующие подходы аналитического описания и моделирования процессов конвективного тепломассообмена, а также выделены преимущества и недостатки каждого из них. Предложена классификация подходов к моделированию тепломассообменных процессов, включающая в себя дифференциально-интегральный, численный и критериальный подходы. Установлено, что, несмотря на большое разнообразие подходов к аналитическому описанию тепломассообменных процессов наибольшей популярностью на практике пользуется критериальный подход, основанный на анализе и обработке экспериментальных данных. С учётом выявленных недостатков существующих методов моделирования предложено использовать метод многомерной интерполяции для построения геометрических моделей тепломассообменных процессов с последующей их оптимизацией. На конкретном примере зависимости конструктивных характеристик конвективной части котлоагрегата изложены принципы создания геометрической модели конвективного тепломассообмена с дальнейшим ее аналитическим описанием методами многомерного моделирования, реализованными в БН-исчислении. Предложенная геометрическая модель представлена в виде трехпараметрической гиперповерхности, которая принадлежит четырехмерному пространству. Это дает возможность определить все необходимые значения конструктивных характеристик конвективной части котлоагрегата и исследовать их с помощью методов математического анализа. Такой подход к моделированию тепломассообменных процессов позволяет получить их аналитическое описание и при этом избежать всех промежуточных уточняющих коэффициентов и критериев.

Предмет исследования: усовершенствование методов моделирования тепломассообменных процессов.

Материалы и методы: метод многомерной интерполяции, реализованный с помощью математического аппарата геометрического моделирования процессов и явлений – БН-исчисление.

Результаты: в работе разработаны теоретические основы геометрического моделирования тепломассообменных процессов методом многомерной интерполяции. Также приводится пример моделирования процесса конвективного тепломассообмена жаротрубного котлоагрегата, который включает разработку и аналитическое описание геометрической модели конвективного тепломассообмена.

Выводы: предложено использовать метод многомерной интерполяции, реализованный в БН-исчислении, для геометрического моделирования тепломассообменных процессов, включающих большое количество взаимосвязанных факторов. Это позволяет избежать недостатков существующих подходов аналитического описания и моделирования процессов конвективного тепломассообмена, а также использовать высокоточные методы математического анализа для оптимизации результатов моделирования.

Ключевые слова: геометрическое моделирование; метод многомерной интерполяции; геометрический объект; БН-исчисление; конвективный тепломассообмен; жаротрубный котлоагрегат.

ВВЕДЕНИЕ

Тепломассообмен – это сложное явление переноса теплоты и вещества в пространстве, моделирование и аналитическое описание которого является достаточно сложной и до конца не решённой научно-практической задачей, связанной с большим количеством взаимосвязанных факторов, влияющих на процесс тепломассопереноса. Теоретические исследования, развёрнутый анализ которых приводится в соответствующем разделе статьи, приводят либо к сложно-разрешимой системе дифференциальных уравнений, либо к достаточно сложным машинным алгоритмам, затрудняющим их использование в инженерной практике. Поэтому в инженерной практике используется критериальный подход, основанный на моделировании экспериментальных данных с помощью эмпирических (чаще всего степенных) зависимостей. Однако для аналитического описания и оптимизации экспериментально-статистической информации не менее эффективно могут быть использованы инструменты и методы геометрического моделирования многофакторных процессов и явлений.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Теория теплообмена изучает процессы распространения теплоты в твердых телах, жидкостях и газах при котором теплота может передаваться тремя простейшими принципиально отличными друг от друга способами: теплопроводность, конвекция и излучение [1-3]. Наибольший интерес, с точки зрения моделирования, представляет собой конвективный теплообмен. Анализ литературных источников показал, что существующие подходы к моделированию тепломассообменных процессов можно представить в виде трех различных подходов: дифференциально-интегральный, численный и критериальный, каждый из которых обладает своими преимуществами и недостатками.

Дифференциально-интегральный подход – это решение системы дифференциальных уравнений (теплоотдачи, энергии, неразрывности и движения) [1,2] конвективного теплообмена средствами математического анализа. Недостатки дифференциально-интегрального подхода заключаются в следующем:

1. Конвективный тепломассообмен описывается системой дифференциальных уравнений, которые содержат большое количество неизвестных. Решение данной системы уравнений не всегда возможно, а рассмотрение задач может быть только для простейших случаев.

2. Приходится делать целый ряд упрощений, которые могут существенно отличатся от реальных условий протекания процессов.

3. Рассмотрение объекта в системе координат происходит отдельно для каждой проекции, в результате чего количество дифференциальных уравнений утраивается.

Численный подход основан на численных методах решении системы дифференциальных уравнений теплоотдачи, энергии, неразрывности и движения. Данный подход является частью дифференциального-интегрального подхода, но в виду его широкого использования в системах автоматизированного проектирования, было решено выделить данный подход в отдельную категорию. В настоящее время существует несколько различных методов численного решения задач конвективного тепломассообмена [4-7]: метод конечных разностей, метод конечных элементов, метод конечных объемов, вихревые методы и др. Используя численный подход, были разработаны коммерческие и свободно распространяемые программные пакеты [6, 7], такие как ANSYS CFX, ANSYS FLUENT, FlowVision, PHOENICS, TascFlow, Star-CD, SINF, SigmaFlow и др.

Недостатки численного подхода:

1. Решение системы дифференциальных уравнений конвективного тепломассообмена численными методами, может рассматриваться в линейной и нелинейной постановках. При линейном решении результаты моделирования не всегда соответствуют действительному протеканию процесса. Решение нелинейных уравнений дает более достоверные результаты, однако это весьма сложный и продолжительный процесс, который требует больших вычислительных ресурсов. При численном моделировании процессов от инженера требуются определенные навыки и знания, а в некоторых случаях и дополнительные исследования, без которых невозможно произвести учет всех нелинейных процессов.

2. Результаты расчетов сильно зависят от геометрической формы исследуемой области, которая может быть сложной и незакономерной, изменения свойств вещества, а также особенностей выбранного программного пакета.

3. Если представленная задача имеет более одного решения, то трудно выявить, какой из результатов расчета является достоверным и как он согласуется с реальным протеканием процесса.

В инженерной практике при изучении конвективного тепломассооообмена чаще всего применяется критериальный подход, основой которого является эксперимент. Критериальный подход представляет собой решение критериальных уравнений, используя критерии и теорию подобия [1-3]. Применяя теорию подобия, находят зависимость искомой величины не от всех влияющих параметров, а только от некоторых критериев подобия. К недостаткам критериального подхода можно отнести:

1. При моделировании процессов конвективного тепломассообмена возникают трудности распространения полученных результатов на широкий спектр задач.

2. Для расчета критериального уравнения приходится учитывать целый ряд критериев подобия, которые могут существенно различаться в зависимости от параметров и режима течения вещества.

3. Критериальные уравнения являются справедливыми только в пределах изменения критериев подобия, которые имели место в ходе проведения опыта.

Резюмируя всё выше сказанное, можно сделать вывод о некоторой разобщенности всех выделенных подходов, которые существуют отдельно, но при этом могут дополнять друг друга. Так теоретическое описание тепломассообменных процессов в виде совокупности дифференциальных уравнений практически не используется на практике. Исключение составляют численный подход, который условно можно считать разновидностью дифференциально-интегрального. Он используется во всех специализированных программных пакетах по расчёту и анализу тепломассообменных процессов и САПР, но при этом не пригоден для инженерного расчёта и поиска оптимального решения при проектировании, поскольку изменение любого фактора приводит к необходимости

продолжительного пересчёта всей системы в целом. Поэтому для решения широкого спектра практических задач тепломассообмена используется критериальный подход, который несмотря на свои недостатки, обеспечивает достаточно гибкие инструменты для решения инженерных задач.

В сложившейся ситуации предлагается использовать методы геометрического моделирования и оптимизации многофакторных процессов и явлений [8-10] для аналитического описания тепломассообменных процессов с последующей их оптимизацией, которые лишены большинства из перечисленных выше недостатков. Работ связанных с геометрическим моделированием тепломассообменных процессов авторам удалось найти не много. Чаще всего геометрическое моделирование рассматривают с точки зрения формообразования. Кроме перечисленных выше, к работам посвящённым геометрическому моделированию многофакторных процессов и явлений, в том числе и тепломассообменных процессов, относятся исследования профессора Вертинской Н.Д. [11], в которых приводятся как аппарат геометрического моделирования так и частные его случаи в виде широкого спектра решённых практических задач. Однако используемый в работах [11] аппарат моделирования ограничивается использованием геометрических объектов 2-го порядка, что в значительной мере сужает круг его практического использования в инженерной практике.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработать теоретические основы геометрического моделирования многофакторных процессов и явлений применительно к решению задач тепломассообмена.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе инженерная геометрия рассматривается как область науки и техники, занимающаяся разработкой теоретических основ и практических методов геометрического моделирования явлений, объектов и процессов живой природы, техники, технологии, экономики, строительства и архитектуры. Исходя из этого под геометрическим моделированием многофакторных процессов и явлений будем понимать такие модели, которым соответствует конкретный геометрический объект, проходящий через наперёд заданные точки, координаты которых соответствуют исходным экспериментально-статистическим данным. Реализовать такой подход можно используя различные методы начертательной, аналитической, дифференциальной, проективной и аффинной геометрии.

В нашем случае для геометрического моделирования многофакторных процессов и явлений используется математический аппарат БН-исчисление (другое название «Точечное исчисление» [12-13]), основанный на аффинных инвариантах. Выбор БН-исчисления обусловлен наличием гибких инструментов конструирования геометрических объектов многомерного аффинного пространства с наперёд заданными свойствами, параметризированных с помощью инвариантов аффинной геометрии. На основе БН-исчисление авторами был разработан метод многомерной интерполяции [10], применительно к задачам моделирования и оптимизации многофакторных процессов и явлений. Для метода многомерной интерполяции характерно наличие зависимости сложности геометрического объекта и размерности пространства, в котором он расположен, от количества моделируемых факторов. Так однофакторный процесс можно представить однопараметрическим множеством точек – линией двухмерного пространства, проходящей через наперед заданные точки, (рис. 1):

$$M = \sum_{i=1}^{n} M_i p_i(u). \qquad (1)$$

Причём обязательным является условие: $\sum_{i=1}^{n} p_i(u) = 1$.

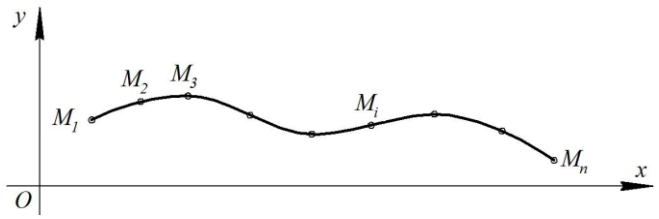


Рис. 1. Геометрическая модель однофакторного процесса

Fig. 1. Geometric model of single-factor process

Точечное уравнение (1) представляет собой символьную запись. Выполнив покоординатный расчёт, получим систему параметрических уравнений:

$$\begin{cases} x_M = \sum_{i=1}^{n} x_{M_i} p_i(u); \\ y_M = \sum_{i=1}^{n} y_{M_i} p_i(u). \end{cases}$$

Аналогичным образом любое точечное уравнение можно представить системой параметрических уравнений. Эта система представляет собой аналитическое описание проекций дуги плоской кривой на оси глобальной системы координат. При этом оси Ox соответствует фактор, влияющий на процесс или явление, а оси Oy – искомая функция отклика. Следует отметить, что каждой точке, через которую проходит геометрический объект, соответствует конкретное значение экспериментально-статистической информации исходных данных искомой модели процесса или явления.

Двухфакторный – двухпараметрическим множеством точек – поверхностью трёхмерного пространства, проходящей через наперед заданные точки, (рис. 2):

$$\begin{cases} M_1 = \sum_{j=1}^{n} M_{1j} p_{1j}(u); \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ M_i = \sum_{j=1}^{n} M_{ij} p_{ij}(u); \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ M_m = \sum_{j=1}^{n} M_{mj} p_{mj}(u); \\ M = \sum_{i=1}^{m} M_i q_i(v). \end{cases} \qquad (2)$$

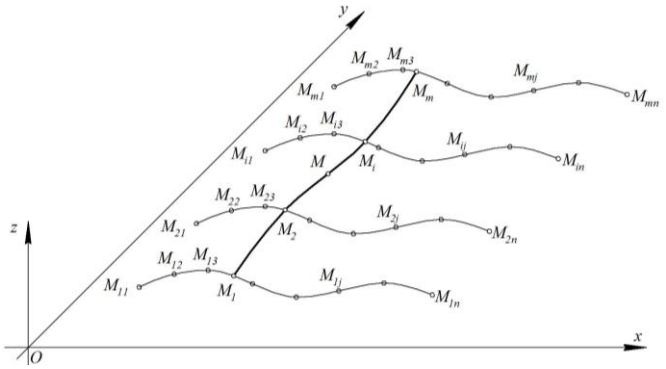


Рис. 2. Геометрическая модель двухфакторного процесса

Fig. 2. Geometric model of two-factor process

Для описания геометрической модели двухфакторного процесса (рис. 2) используется трёхмерная декартовая система координат. Причём осям Ox и Oy соответствуют факторы, влияющие на процесс, а оси Oz искомая функция отклика.

Трёхфакторный – трёхпараметрическим множеством точек – гиперповерхностью четырёхмерного пространства, проходящей через наперед заданные точки, (рис. 3):

$$\begin{cases} M_{ij} = \sum_{k=1}^{l} M_{ijk}\, p_{ijk}(u); \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ M_{i} = \sum_{j=1}^{n} M_{ij}\, q_{ij}(v); \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ M = \sum_{i=1}^{m} M_{i}\, r_{i}(w). \end{cases} \qquad (3)$$

Выполнив покоординатный расчёт последовательности точечных уравнений (3), получим проекции гиперповерхности на оси глобальной системы координат, для которой оси Ox, Oy и Oz будут соответствовать факторам влияния, а Ot – искомой функции отклика.

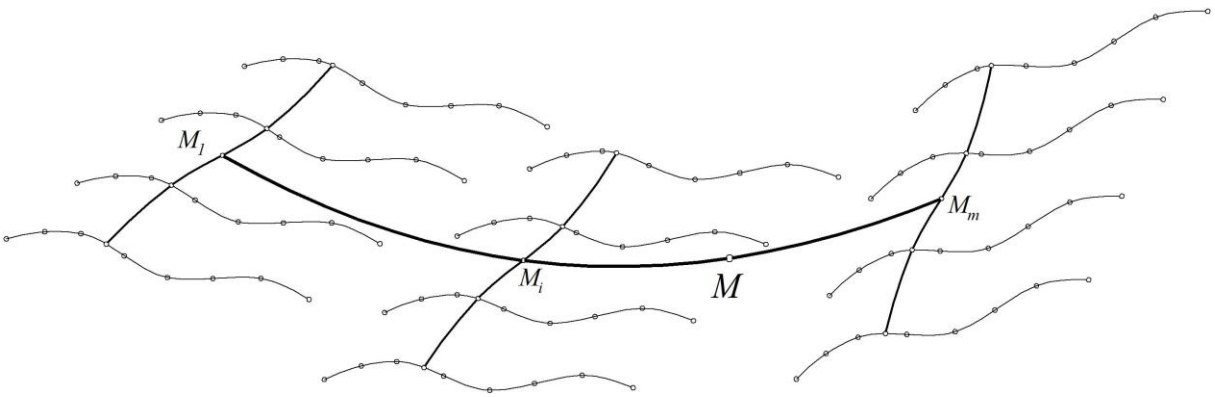


Рис. 3. Геометрическая модель трехфакторного процесса

Fig. 3. Geometric model of three-factor process

Обобщая такой подход получим геометрическую модель n-факторного процесса, как n-параметрическое множество точек или гиперповерхность $(n+1)$-го пространства, проходящую через наперёд заданные точки. Прохождение всего геометрического объекта через наперёд заданные точки обеспечивается прохождением всех точек через направляющие линии на каждом этапе формирования дерева модели. А любая линия представляется организованным определённым образом однопараметрическим множеством точек.

Для аналитического описания геометрических объектов многомерного пространства необходимо иметь специальный набор уравнений дуг кривых, проходящих через наперёд заданные точки. В данном случае возможно два принципиальных подхода: использование единой кривой и составной кривой. В работе рассмотрены способы моделирования как составных кривых в виде выпуклых обводов разного порядка гладкости, так и единых алгебраических кривых, проходящих через наперед заданные точки, на основе полиномов Бернштейна. Использование последних является наиболее предпочтительным, поскольку использование составных кривых для аналитического описания геометрических объектов многомерного пространства является затруднительным и не всегда возможным. Это связано с тем, что моделирование составных

геометрических объектов многомерного пространства возможно только на регулярной сети точек. К тому же сложность визуального восприятия многомерного пространства приводит к необходимости использования не зрительной, а логической наглядности, основанной на методах обобщения и аналогии.

Исходное точечное уравнение кривых, полученных на основе полиномов Бернштейна, которые в общем случае находятся в пространстве размерности n, являются кривыми $(n-1)$-й кривизны:

$$M = \sum_{i=0}^{n} A_{i+1} \frac{n!}{i!(n-i)!} \bar{t}^{\,n-i} t^{i}. \qquad (4)$$

Использовав равномерное распределение текущего параметра $t = \frac{j}{n}$, получим:

$$M_{j+1} = \sum_{i=0}^{n} A_{i+1} \frac{n!}{i!(n-i)!} \left(\frac{n-j}{n}\right)^{n-i} \left(\frac{j}{n}\right)^{i}. \qquad (5)$$

Переопределим точки ломаной линии $A_1A_2...A_n, A_{n+1}$ через точки $M_1M_2...M_n, M_{n+1}$, которые принадлежат дуге кривой, определенной с помощью уравнения (5), пропорционально изменяя значение параметра t от 0 до 1. В результате получим систему линейных $n+1$ алгебраических уравнений, каждая строка которой определяется следующим уравнением:

$$\sum_{i=0}^{n} \frac{n!}{i!(n-i)!} (n-j)^{n-i} (j)^{i} A_{i+1} = n^{n} M_{j+1}. \qquad (6)$$

Решив полученную систему уравнений (6) методом Крамера и подставив в исходное уравнение (4), получим уравнение дуги кривой, проходящей через наперёд заданные точки $M_1M_2...M_n, M_{n+1}$. Используя предложенную методику, были получены дуги кривых 2-10 порядка, проходящие соответственно через 3-11 наперёд заданных точек. Например:

1. Дуга кривой 2-го порядка, проходящая через 3 наперед заданные точки:
$$M = M_1 \bar{t}\,(1-2t) + 4\bar{t}tM_2 + M_3 t(2t-1), \text{ где } \bar{t} = 1-t.$$

2. Дуга кривой 3-го порядка, проходящая через 4 наперед заданные точки:
$$M = M_1\left(\bar{t}^{\,3} - 2{,}5\bar{t}^{\,2}t + \bar{t}t^{2}\right) + M_2\left(9\bar{t}^{\,2}t - 4{,}5\bar{t}t^{2}\right) + M_3\left(-4{,}5\bar{t}^{\,2}t + 9\bar{t}t^{2}\right) + M_4\left(\bar{t}^{\,2}t - 2{,}5\bar{t}t^{2} + t^{3}\right).$$

3. Дуга кривой 4-го порядка, проходящая через 5 наперед заданных точек:
$$M = M_1\left(\bar{t}^{\,4} - \frac{13}{3}\bar{t}^{\,3}t + \frac{13}{3}\bar{t}^{\,2}t^{2} - \bar{t}t^{3}\right) + M_2\left(16\bar{t}^{\,3}t - \frac{64}{3}\bar{t}^{\,2}t^{2} + \frac{16}{3}\bar{t}t^{3}\right) + M_3\left(-12\bar{t}^{\,3}t + 40\bar{t}^{\,2}t^{2} - 12\bar{t}t^{3}\right) +$$
$$+ M_4\left(\frac{16}{3}\bar{t}^{\,3}t - \frac{64}{3}\bar{t}^{\,2}t^{2} + 16\bar{t}t^{3}\right) + M_5\left(-\bar{t}^{\,3}t + \frac{13}{3}\bar{t}^{\,2}t^{2} - \frac{13}{3}\bar{t}t^{3} + t^{4}\right).$$

Остальные уравнения дуг кривых, проходящих через наперёд заданные точки, не приводятся из-за ограниченного объёма статьи и могут быть получены аналогичным образом с использованием предложенной методики. Точечные уравнения, проходящие через наперёд заданные точки, являются универсальным инструментом и могут быть использованы в пространстве любой размерности. Кроме того полученные дуги кривых обладают одним очень важным свойством. Поскольку они получены на основе равномерного распределения параметра, то используя равномерное распределение точек при покоординатном расчёте, получаются линейные зависимости, за счёт чего легко можно перейти от параметрических уравнений к уравнениям, заданным в явном виде. Т.е. появляется возможность, исключая параметры напрямую работать с факторами, влияющими на функцию отклика.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Отличительной особенностью моделирования тепломассообменных процессов, которая в значительной степени затрудняет их исследование,

является наличие большого количества взаимосвязанных факторов. Чтобы нивелировать это обстоятельство воспользуемся методами геометрического моделирования. Исходя из того, что определённая последовательность событий привела к конкретному результату, поставим в соответствие для одной из осей координат необходимую функцию отклика, а другим осям – факторы, влияющие на функцию отклика. Тогда геометрический объект, полученный в такой системе координат, будет устанавливать взаимосвязь между функцией отклика и факторами, влияющими на неё. При этом как факторы, так и функция отклика могут в различных комбинациях коррелировать между собой, что не оказывает никакого влияния на результат геометрического моделирования.

В качестве примера, рассмотрим процесс геометрического моделирования тепломассообменных процессов, протекающих в жаротрубном котлоагрегате (КА). Жаротрубный КА имеет простую конструкцию и состоит из топочной камеры и конвективного газохода. Тем не менее, он представляет собой сложный теплообменный аппарат, в котором происходит процесс сжигания топлива и передача тепла от дымовых газов к теплоносителю.

Выделим основные конструктивные характеристики конвективного газохода жаротрубного котлоагрегата, которыми может оперировать инженер-проектировщик: z – количество конвективных труб, шт; $d_в$ – внутренний диаметр конвективных труб, м; Δt – разность температуры теплоносителя на входе и выходе КА, °С. В качестве функции отклика принимается теплота переданная конвективной поверхности КА Q.

Представим искомую геометрическую модель в параметрическом виде, где каждой оси координат соответствуют 3 фактора (z, $d_в$ и Δt) и функция отклика Q:

$$\begin{cases} Q = f_1(u, v, w); \\ z = f_2(u, v, w); \\ d = f_3(u, v, w); \\ \Delta t = f_4(u, v, w). \end{cases} \quad (7)$$

В качестве примера воспользуемся паспортными данными теплогенератора КВ-0,3 с номинальной теплопроизводительностью 0,3 МВт. Другие исходные данные: температура уходящих газов – 150 °С; топливо – природный газ; газопровод – Средняя Азия – Центр. Остальные данные, необходимые для расчёта конвективной части КА, не приводятся из-за ограниченного объёма статьи.

Примем интервалы, в которых будут варьироваться факторы, влияющие на функцию отклика: z=10–50 шт; $d_в$=0,03–0,07 м; Δt=20–50ºС. При отсутствии доступа к реальным экспериментальным данным, в пределах этих интервалов были получены расчётно-статистические данные по методике расчёта жаротрубных КА профессора Лукьянова А.В. [14].

Поскольку количество варьируемых параметров равно трем, создадим геометрическую модель конвективного тепломассообмена в виде отсека гиперповерхности, которая представляет собой трехпараметрическое множество точек, принадлежащих четырехмерному пространству. Для более наглядного представления полученной модели, рассмотрим ее частный случай – поверхность, принадлежащую трехмерному пространству, которая отображает зависимость теплоты от количества конвективных труб и их внутреннего диаметра при $\Delta t = 20$ °С. Определим геометрическую модель в трехмерной декартовой системе координат и установим соответствие между значениями факторов влияния и осями декартовой системы координат (рис. 4). Так оси Ox соответствует количество конвективных труб; оси Oy – внутренний диаметр конвективных труб; оси Oz – количество теплоты.

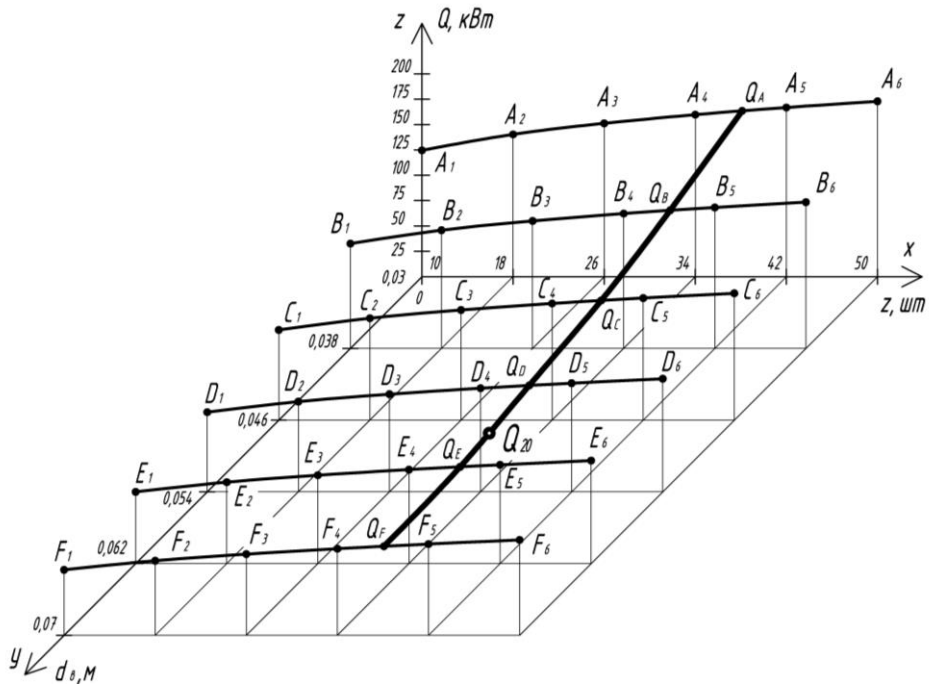


Рис. 4. Геометрическая модель установления зависимости двух параметров при Δt=20ºС

Fig. 4. The geometric model for establishing the dependence of two parameters at Δt=20ºС

На рисунке 4, точки A_i, B_i, C_i, D_i, E_i, F_i − исходные точки для моделирования, которым соответствуют фиксированные значения исходных расчётно-статистических данных. Q_A, Q_B, Q_C, Q_D, Q_E, Q_F − дуги кривых, проходящие через шесть наперед заданных точек, которые описывают конкретное состояние и являются направляющими поверхности. Дуга кривой, которая описывается текущей точкой Q_{20}, является образующей и объединяет все фиксированные состояния с помощью криволинейной интерполяции.

$$
\begin{aligned}
Q_A = {} & A_1\left(\bar{u}^5 - \frac{77}{12}\bar{u}^4 u + \frac{269}{24}\bar{u}^3 u^2 - \frac{77}{12}\bar{u}^2 u^3 + \bar{u}u^4\right) + A_2\left(25\bar{u}^4 u - \frac{725}{12}\bar{u}^3 u^2 + \frac{925}{24}\bar{u}^2 u^3 - \frac{25}{4}\bar{u}u^4\right) + \\
& + A_3\left(-25\bar{u}^4 u + \frac{1475}{12}\bar{u}^3 u^2 - \frac{575}{6}\bar{u}^2 u^3 + \frac{50}{3}\bar{u}u^4\right) + A_4\left(\frac{50}{3}\bar{u}^4 u - \frac{575}{6}\bar{u}^3 u^2 + \frac{1475}{12}\bar{u}^2 u^3 - 25\bar{u}u^4\right) + \\
& + A_5\left(-\frac{25}{4}\bar{u}^4 u + \frac{925}{24}\bar{u}^3 u^2 - \frac{725}{12}\bar{u}^2 u^3 + 25\bar{u}u^4\right) + A_6\left(\bar{u}^4 u - \frac{77}{12}\bar{u}^3 u^2 + \frac{269}{24}\bar{u}^2 u^3 - \frac{77}{12}\bar{u}u^4 + u^5\right),
\end{aligned}
\tag{8}
$$

где u − параметр, определяющий положение текущей точки на соответствующей направляющей.
Подобным уравнением определяются дуги кривых Q_A, Q_B, Q_C, Q_D, Q_E, Q_F.
Образующая гиперповерхности определяется аналогичным уравнением, но уже с параметром v:

$$
\begin{aligned}
Q_{20} = {} & Q_A\left(\bar{v}^5 - \frac{77}{12}\bar{v}^4 v + \frac{269}{24}\bar{v}^3 v^2 - \frac{77}{12}\bar{v}^2 v^3 + \bar{v}v^4\right) + Q_B\left(25\bar{v}^4 v - \frac{725}{12}\bar{v}^3 v^2 + \frac{925}{24}\bar{v}^2 v^3 - \frac{25}{4}\bar{v}v^4\right) + \\
& + Q_C\left(-25\bar{v}^4 v + \frac{1475}{12}\bar{v}^3 v^2 - \frac{575}{6}\bar{v}^2 v^3 + \frac{50}{3}\bar{v}v^4\right) + Q_D\left(\frac{50}{3}\bar{v}^4 v - \frac{575}{6}\bar{v}^3 v^2 + \frac{1475}{12}\bar{v}^2 v^3 - 25\bar{v}v^4\right) + \\
& + Q_E\left(-\frac{25}{4}\bar{v}^4 v + \frac{925}{24}\bar{v}^3 v^2 - \frac{725}{12}\bar{v}^2 v^3 + 25\bar{v}v^4\right) + Q_F\left(\bar{v}^4 v - \frac{77}{12}\bar{v}^3 v^2 + \frac{269}{24}\bar{v}^2 v^3 - \frac{77}{12}\bar{v}v^4 + v^5\right),
\end{aligned}
\tag{9}
$$

где v − параметр, определяющий положение текущей точки на соответствующей образующей.

Аналогичным образом, определяются еще три поверхности для значений температурного напора Δt= 30ºС, Δt=40ºС, Δt=50ºС, которые соответствуют текущим точкам Q_{30}, Q_{40}, Q_{50}. Тогда текущие точки Q_{20}, Q_{30}, Q_{40}, Q_{50} одновременно являются и образующими для отдельных поверхностей, и направляющими для построения гиперповерхности (рис. 5). В свою очередь, текущая точка Q является образующей гиперповерхности, которая аналитически описывается уравнением (10).

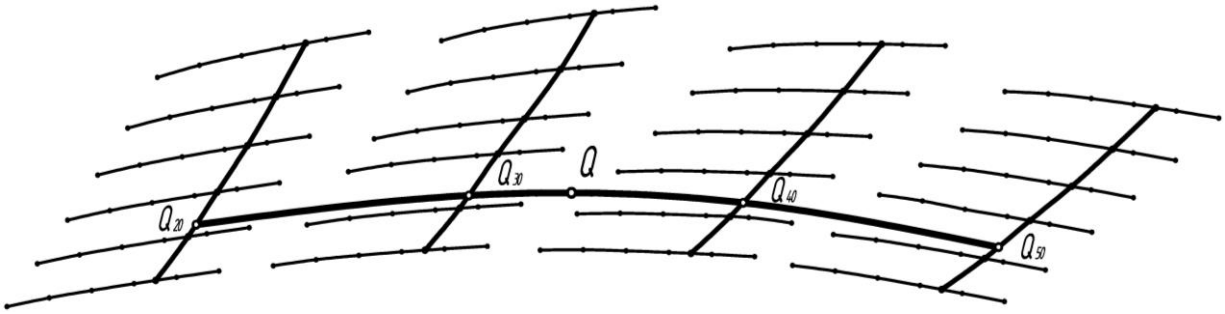


Рис. 5. Геометрическая модель конвективного тепломассообмена

Fig. 5. The geometric model of convective heat transfer exchange

$$Q = Q_{20}\left(\bar{w}^3 - 2,5\bar{w}^2 w + \bar{w}w^2\right) + Q_{30}\left(9\bar{w}^2 w - 4,5\bar{w}w^2\right) + Q_{40}\left(-4,5\bar{w}^2 w + 9\bar{w}w^2\right) + \\ + Q_{50}\left(\bar{w}^2 w - 2,5\bar{w}w^2 + w^3\right), \qquad (10)$$

где w − параметр, определяющий положение текущей точки искомой гиперповерхности.

Таким образом, подставив уравнения (8) – (9) в уравнение (10), получим аналитическое описание процесса конвективного тепломассообмена, зависящего от трех параметров u, v, w. При этом изменение параметра u соответствует изменению количества конвективных труб 10–50 шт; изменение параметра v − внутреннего диаметра конвективных труб 0,03–0,07 м; изменение параметра w − температуры теплоносителя в пределах 20–50ºС.

Далее исключим избыточные параметры. Учитывая равномерное распределение исходных для моделирования точек, выразим значения параметров u, v и w через натуральные значения факторов: $u = 0,025z - 0,25$, $v = 25d - 0,75$ и $w = 0,033\Delta t - 0,667$. Подставив полученные выражения в первое уравнение из системы уравнений (7), получим зависимость теплоты от количества конвективных труб, внутреннего диаметра конвективных труб и температуры теплоносителя: $Q = f(z, d, \Delta t)$.

Проведём верификацию полученной модели с помощью коэффициента детерминации. При этом следует учесть, что полученная геометрическая модель по сравнению с исходными данными имеет полную сходимость, при которой коэффициент детерминации равен 1. С геометрической точки зрения этот факт объясняется тем, что условие прохождения итогового геометрического объекта через наперед заданные точки, соответствующие исходным расчётно-статистическим данным, было заложено заранее, непосредственно на стадии моделирования. Поэтому для проверки достоверности результатов моделирования воспользуемся дополнительными, которые не вошли в полученную модель. В результате точность геометрической модели достигла R^2=0,99982.

ВЫВОДЫ

В работе предложены теоретические основы геометрического моделирования тепломассообменных процессов, которые позволяют получать аналитические зависимости в виде точечных уравнений и расчётных алгоритмов. Приведенный пример не претендует на самый удачный выбор факторов и функции отклика, а лишь демонстрирует принципы геометрического моделирования тепломассообменных процессов. Следует отметить, что полученная на примере КВ-0,3 геометрическая модель является универсальной и может быть использована для проектирования жаротрубных котлов любых типоразмеров. Необходимо только соответствующим образом изменить исходные данные для моделирования. Аналогичным образом можно смоделировать любой тепломассообменный процесс с любым количеством факторов и с любой функцией отклика. Так перспективой дальнейших исследований является обобщение предложенной

геометрической модели для расчёта и проектирования других КА и теплообменных аппаратов. Кроме того появляется возможность с помощью высокоточных методов математического анализа оптимизировать конструктивные характеристики КА для достижения максимальных значений передачи тепла от продуктов сгорания к теплоносителю.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: Справочник / Е.В. Аметистов, В.А. Григорьев, Б.Т. Емцев и др.; под общ. ред. В.Г. Григорьева, В.М. Зорона. М.:Энергоиздат, 1982. 512 с.

2. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1977. 344 с.

3. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена.- Изд. 5-е перераб. и доп. М.: Атомиздат, 1979, 416 с.

4. Ferziger J.H., Perit M. Computational Methods for Fluid Dynamics 3rd edition. – Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Hong Kong, London, Milan, Paris, Tokyo: Springer, 2002. 423 p.

5. Andersson B., Andersson R., Hakansson L. et al. Computational Fluid Dynamics for Engineers. New York: Cambridge University Press, 2012. 212 p.

6. Платонов Д.В., Минаков А.В., Харламов Е.Б., Дектерев А.А. Сравнительный анализ CFD-пакетов SigmaFlow и Ansys Fluent на примере решения ламинарных тестовых задач // Вестн. Томск. гос. ун-та. Математика и механика. 2013. № 1(21). С. 84 – 94.

7. Львович И.Я., Львович Я.Е., Преображенский А.П., Чопоров О.Н. Особенности методов вычислительной гидродинамикидля моделирования турбулентности. // Информационные технологии. 2016. Т. 22. № 12. С. 905 – 913.

8. Конопацкий Е.В. Некоторые вопросы математического и компьютерного моделирования в строительстве // Информатика и кибернетика. Донецк, ДонНТУ, 2016. № 2(4)-2016. С. 37 – 42.

9. Конопацький Є.В., Верещага В.М., Найдиш А.В., Балюба І.Г. Принципи систематизації компонентів процесу для створення його геометричної моделі у БН-численні // Науковий вісник Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького. Серія: Математика. Геометрія. Інформатика. – Мелітополь: МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2014. Т.1. С.75 – 79.

10. Конопацкий Е.В. Геометрическое моделирование и оптимизация многофакторных процессов и явлений методом многомерной интерполяции // Труды Международной научной конференции по физико-технической информатике СРТ2018, 28-31 мая 2018 г. Москва-Протвино, 2018. С.299 – 306.

11. Вертинская Н.Д. Теория нелинейных многомерных моноидальных поверхностей и её приложения: автореф. дис. ... доктора техн. наук: 05.01.01. Иркутск, 2006. 31 с.

12. Бумага А.И., Конопацкий Е.В., Крысько А.А., Чернышева О.А. Введение в математические аппарат БН-исчисления // Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе: традиции и инновации. 2017. Т. 1. С. 76 – 82.

13. Найдыш В.М., Балюба И.Г., Верещага В.М. Алгебра БН-исчисления // Прикладна геометрія та інженерна графіка. 2012. № 90. С. 210 – 215.

14. Лук’янов О.В. Теплогенератори для локальних систем теплопостачання. Макіївка.: ДонДАБА, 2003. – 149 с.

REFERENCES

1. Teplo- i massoobmen. Teplotekhnicheskiy eksperiment [Heat and mass transfer. Thermotechnical experiment]: Spravochnik / Ye.V. Ametistov, V.A. Grigor'yev, B.T. Yemtsev i dr.; pod obshch. red. V.G. Grigor'yeva, V.M. Zorona. Moscow: Energoizdat, 1982. 512 p.

2. Mikheyev M.A., Mikheyeva I.M. Osnovy teploperedachi [Fundamentals of heat transfer]. Moscow: Energiya. 1977. 344 p.

3. Kutateladze S.S. Osnovy teorii teploobmena [Fundamentals of the theory of heat transfer].- Izd. 5-ye pererab. i dop. Moscow: Atomizdat, 1979. 416 p.

4. Ferziger J.H., Perit M. Computational Methods for Fluid Dynamics 3rd edition. – Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Hong Kong, London, Milan, Paris, Tokyo: Springer, 2002. 423 p.

5. Andersson B., Andersson R., Hakansson L. et al. Computational Fluid Dynamics for Engineers. New York: Cambridge University Press, 2012. 212 p.

6. Platonov D.V., Minakov A.V., Kharlamov Ye.B., Dekterev A.A. Analysis of CFD sigmaflow and fluent packages by the example of solving laminar test problems. Vestn. Tomsk. gos. un-ta. Matematika i mekhanika. 2013. № 1(21). pp. 84 – 94. (In Russian).

7. Lvovich I. Ya., Lvovich Ya. E., Preobrazhensky A. P., Choporov O. N. The Features of the methods of computational fluid dynamics for turbulence modeling. Informatsionnyye tekhnologii. 2016. T. 22. № 12. pp. 905-913. (In Russian).

8. Konopatskiy E.V. Some questions of mathematical and computer modeling in building. Informatika i kibernetika. Donetsk, DonNTU. 2016. № 2(4)-2016. pp. 37 – 42. (In Russian).

9. Konopats′kiy E.V., Vereshchaha V.M., Naydysh A.V., Balyuba I.H. Principles of systematization of process components for creation of its geometric model in BN- calculation. Naukovyy

visnyk Melitopol′s′koho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni Bohdana Khmel′nyts′koho. Seriya: Matematyka. Heometriya. Informatyka. – Melitopol′: MDPU im. B. Khmel′nyts′koho. 2014. T.1. pp.75 – 79. (In Ukrainian).

10. Konopatskiy E.V. Geometrical modeling and optimization of multifactor processes and phenomena's by method of multidimensional interpolation. Proceedings of the International Conference on Computing for Physics and Technology CPT2018. May 28-31, 2018, Moscow-Protvino, 2018. pp.299 – 306. (In Russian).

11. Vertinskaya N.D. The theory of non-linear multidimensional monoidal surfaces and its applications. Avtoref. Diss. ... doktora tekhn. nauk: 05.01.01. Irkutsk, 2006. 31 p. (In Russian).

12. Bumaga A.I., Konopatskiy E.V., Krysko A.A., Chernysheva O.A. introduction in the mathematical apparatus bn-calculation. Problems of the quality of graphic preparation of students in a technical college: traditions and innovations. 2017. T. 1. pp. 76-82. (In Russian).

13. Naydysh V.M., Balyuba Y.H., Vereshchaha V.M. Algebra BN- calculation. Applied geometry and engineering graphics. 2012. № 90. pp. 210 – 215. (In Russian).

14. Lukyanov O.V. Teploheneratory dlya lokal′nykh system teplopostachannya [Heat generators for local heat supply systems]. Makiyivka. DNACEA. 2003. 149 p.

THEORETICAL BASIS OF GEOMETRICAL MODELING OF HEAT EXCHANGING PROCESSES

Konopatskiy E. V., Voronova O. S.

Summary In this article have been analyzed the existing approaches of analytical description and modeling of convective heat transfer exchange processes as well as been revealed advantages and shortcomings of each of them. The classification of approaches to the modeling of heat transfer exchange processes have been proposed. This classification includes differential-integral, numerical and criterial approaches. It has been established that, despite the wide variety of approaches to the analytical description of heat transfer exchange processes, the criterion approach is most popular in practice. The criterial approach is based on the analysis and processing the experimental data. Taking into account the revealed shortcomings of the existing modeling methods, it is suggested to use the multidimensional interpolation method to construct geometric models of convective heat transfer exchange processes with their subsequent optimization. A specific example of the dependence of the constructive characteristics convective part of the boiler set out the principles for creating the geometric model of convective heat transfer with its further analytical description using multidimensional modeling methods implemented in BN- calculation. The given geometrical model presented as three-parameter hypersurface that belongs to four-dimensional space. This gives a possibility to reveal all the necessary values of the constructive characteristics convective part of the boiler and and investigate those with mathematical analysis methods. This approach to modeling of convective heat transfer exchange processes allows to obtain their analytical description and at the same time to avoid any intermediate specifying coefficients and criteria.

Subject: improvement the methods for modeling of convective heat transfer exchange processes.

Materials and methods: method of multidimensional interpolation, implemented using the mathematical apparatus of geometric modeling processes and phenomena - BN- calculation.

Results: theoretical foundations the geometric modeling of convective heat transfer exchange processes have been developed. An example is given of modeling the process of convective heat transfer a boiler, which includes the development and analytical description the geometric model of convective heat transfer.

Conclusions: it is suggested to use the method of multidimensional interpolation, realized in BN- calculation, for geometric modeling of heat exchange processes, including a plenty of interrelated factors. This avoids the shortcomings of analytical description and modeling of convective heat transfer exchange processes, as well as using high-precision mathematical analysis methods to optimize simulation results.

Key words: geometrical modeling; multidimensional interpolation method; geometrical object; BN-calculation; convective heat transfer; boiler.

Раздел 4. Экологическая безопасность

УДК912.

ВТОРЖЕНИЯ АРКТИЧЕСКОГО ВОЗДУХА И СОВРЕМЕННАЯ КЛИМАТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР И СУММ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В КРЫМУ

А. В. Холопцев, С. А. Подпорин, Л. Е. Курочкин

Севастопольское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н. Н. Зубова»., г. Севастополь, ул. Советская, 61. E-mail: kholoptsev@mail.ru
Севастопольский государственный университет. Севастополь, ул. Университетская, 33. E-mail: SAPodporin@sevsu.ru

Аннотация статьи. Предмет исследования – современные тенденции климатической изменчивости максимальных летних, минимальных зимних температур воздуха и сумм атмосферных осадков тех же сезонов в пунктах Крыма, где систематический мониторинг этих показателей ранее не производился, а также суммарной продолжительности (СП) вторжений арктического воздуха (ВАВ), при которых данный регион оказывается в области влияния блокирующего антициклона. Цель работы – установление и устранение причин несоответствия между оценками исследуемых характеристик по результатам определения СП ВАВ, а также по фактической информации метеостанций Крыма, а также изучение возможности выявления данных характеристик для пунктов Крыма, где метеонаблюдений не проводилось. Для ее достижения выявлены недостатки традиционной методики обнаружения ВАВ. Предложен альтернативный критерий их выявления, что позволяет полностью автоматизировать эту процедуру, а также применить при решении данной задачи реанализ NCEP/NCAR. Изучены законы распределения вероятности значений предложенного критерия для случаев, когда обнаруживаемые ВАВ над Крымом либо Западной частью Черного моря существуют, а также когда они отсутствуют. Это позволило выбрать порог обнаружения выявляемых процессов, а также оценить вероятности пропусков и ложных тревог при использовании усовершенствованной, а также традиционной методики. Доказано, что вероятности пропуска ВАВ при использовании предложенной методики существенно меньше, а вероятности ложной тревоги практически неизменны. Применение предложенной методики позволяет упомянутое несоответствие устранить и применить ее результаты для оценки современных тенденций изменчивости рассматриваемых характеристик метеоусловий в пунктах Крыма, где их наблюдений не производилось. Их целесообразно учитывать при проектировании для них различных объектов строительства, совершенствования систем водоснабжения, а также для оценки рисков при обеспечении безопасности судоходства в Черном и Азовском морях, Керченском проливе в условиях влияния экстремальных гидрометеорологических факторов.

Предмет исследования – современные тенденции климатической изменчивости максимальных летних, минимальных зимних температур воздуха и сумм атмосферных осадков тех же сезонов в пунктах Крыма, где систематический мониторинг этих показателей ранее не производился, а также суммарной продолжительности (СП) вторжений арктического воздуха (ВАВ), при которых данный регион оказывается в области влияния блокирующего антициклона.

Материалы и методы. В качестве фактического материала использован реанализ NCEP/NCAR среднесуточных значений приведенного к уровню Мирового океана атмосферного давления. Применены методы: сравнительный, статистический, корреляционный анализ, критерий Стьюдента.

Результаты. Выявлены недостатки традиционной методики обнаружения ВАВ. Предложен альтернативный критерий их выявления, что позволяет полностью автоматизировать эту процедуру, а также применить при решении данной задачи реанализ NCEP/NCAR. Изучены законы распределения вероятности значений предложенного критерия для случаев, когда обнаруживаемые процессы существуют, а также когда они отсутствуют, что позволило выбрать порог их обнаружения. Доказано, что вероятности пропуска ВАВ при использовании предложенной методики существенно меньше, а вероятности ложной тревоги практически неизменны. Применение предложенной методики позволяет упомянутое несоответствие устранить и применить ее результаты для оценки современных тенденций изменчивости рассматриваемых характеристик метеоусловий в пунктах Крыма, где их наблюдений не производилось.

Выводы. Причиной несоответствия между современными тенденциями изменений СП за зимний и летний сезон СВТ над Крымом, оцененных с использованием традиционной методики, а также фактической динамики экстремальных метеопараметров, которая наблюдалась на его метеостанциях в 1998–2017 гг., является неточность учета в данной методике априорной информации о свойствах этих процессов. Предложенная методика выявления СВТ, которая более точно учитывает эту информацию, обеспечивает практически такие же $P_{лт}$, но значения $P_{пр}$ данных процессов, возникающих над Крымом и Западной частью Черного моря, при ее применении значительно меньше. В результате ее применения указанное несоответствие ликвидировано, что позволяет полученные с ее помощью оценки современных тенденций изменчивости СП СВТ применить для оценки тенденций динамики изучаемых процессов в пунктах Крыма, где их мониторинг не производился.

Ключевые слова: субмеридиональные воздушые течения, вторжения арктического воздуха, Крым, суммарная продолжительность, экстремальные температуры воздуха, суммы атмосферных осадков зимнего и летнего сезона.

ВВЕДЕНИЕ

Экстремальные (минимальные зимние и максимальные летние) значения температур воздуха, а также суммы атмосферных осадков зимнего и летнего сезонов, которые вероятны на той или иной территории в период эксплуатации проектируемых для нее зданий, сооружений, а также систем водоснабжения, являются значимыми параметрами ее местного климата, подлежащими обязательному учету. Поэтому совершенствование методик прогнозирования их изменчивости является актуальной проблемой не только климатологии, но также строительства и техногенной безопасности.

Значительный интерес решение данной проблемы представляет для регионов России, обладающих значительным рекреационным потенциалом, где в будущем вероятно расширение масштабов природоохранного и курортного строительства. Одним из них является Крым. Здесь систематические наблюдения за изменениями температур воздуха, а также интенсивности атмосферных осадков уже многие десятилетия осуществляются на метеостанциях Росгидромета: Симферополь, Симферополь (Аэропорт), Севастополь, Херсонесский маяк, Ишунь, Черноморское, Клепинено, Раздольное, Джанкой, Евпатория, Мысовое, Опасное, Заветное, Керчь, Владиславовка, Феодосия, Белогорск, Алушта, Ангарский перевал, Ай Петри и Ялта [1]. При этом в прочих его пунктах наблюдения если когда-либо и проводились, то нерегулярно.

Анализ упомянутой информации свидетельствует о том, что в пунктах, где располагаются перечисленные метеостанции, экстремальные значения температур воздуха, в период с 1998 по 2017 гг. повышались, как и суммы атмосферных осадков зимнего сезона, однако для летнего сезона суммы осадков, приносимых в них циклонами и атмосферными фронтами, снижались[2]. Вместе с тем, параметры трендов указанных зависимостей для перечисленных пунктов существенно различались. Это не позволяет утверждать, что и в прочих пунктах Крымского полуострова проявляются те же закономерности, хотя рассматриваемая проблема, безусловно, является актуальной и для них.

Для таких пунктов прогнозирование тенденций изменчивости рассматриваемых метеорологических показателей возможно лишь с учетом факторов, оказывающих влияние сразу на всю территорию изучаемого региона (глобальных либо крупномасштабных).

Согласно современным представлениям о таких факторах [3–5], к важнейшим из них принято относить изменения суммарных продолжительностей (СП) периодов существования над регионом таких составляющих атмосферной циркуляции, как субмеридиональные воздушные течения (СВТ), инициированные вторжениями арктического воздуха (ВАВ) [5]. Тем не менее, попытки разработки подобных прогнозов для пунктов Крымского полуострова, где они могут быть проверяемыми, до сих пор успеха не имели. Следовательно, выявление причин последнего, а также построение более совершенных их прогнозов привлекает внимание исследователей.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Вторжения арктического воздуха и связанные с ними СВТ уже многие десятилетия изучают отечественные ученые [6, 7]. Эти исследования начались еще до Великой Отечественной войны, но наибольший прогресс в понимании природы и свойств рассматриваемых процессов был достигнут уже в послевоенные годы. Основной вклад в их изучение в тот период внесли Б. Л. Дзердзеевский и ученые его школы [8].

Признавая роль СВТ в изменениях метеоусловий в регионах умеренных широт весьма существенной, ими было предложено использовать расположение в некоторые сутки полос повышенного атмосферного давления, которые возникают при этих процессах, в качестве одного из основных признаков, учитываемых при типизации макроциркуляционных процессов в Северном полушарии [6–8].

Основываясь на типизации по Б. Л. Дзердзеевскому, ведется Календарь [9], позволяющий для каждых суток с 1.01.1899 г. определить сектора данного полушария, в пределах которых происходили соответствующие СВТ. При его составлении применяется методика выявления изучаемых процессов, предполагающая осуществление анализа суточных карт погоды, отражающих распределение в Северном полушарии среднесуточных (либо соответствующих некоторому сроку) значений приведенного к уровню моря атмосферного давления [3, 5,10].

Упомянутая методика была разработана в годы, когда вычислительной техники не существовало. Поэтому, в соответствии с ней, решение о существовании в каком-либо секторе и в некоторые сутки СВТ принимается, если между периферииями расположенного в нем компонента Арктического антициклона и соответствующего Субтропического антициклона в такие сутки выявлена полоса, где атмосферное давление превышало 1015 гПа. Подобная полоса, расположенная между подобными антициклонами субмеридионально, выявляется визуально, поскольку на карте погоды ее границы отображаются указанной изобарой. Ширина такой полосы, как правило, может составлять от нескольких сотен, до единиц тысяч километров, а конфигурация ее границ может быть весьма разнообразной. Такая барическая неоднородность может существовать от одних до нескольких десятков суток [6].

В соответствии с упомянутой методикой, выявление подобных полос возможно лишь «вручную». По этой причине она весьма трудоемка и не позволяет исключить антропогенные ошибки. Тем не менее, иной методики ныне не предложено, вследствие чего она применяется уже многие десятки лет [10].

Установлено, что указанные полосы образуются в результате нарушения устойчивости того или иного компонента Арктического циклона. Участвующий в них воздух перемещается настолько быстро, что практически за сутки достигает периферии соответствующего субтропического антициклона [6, 7]. В результате этого каждое СВТ является турбулентным, а в его пограничном слое происходит перемешивание участвующего в нем воздуха с окружающей воздушной средой. При этом воздух СВТ частично покидает его пределы, замещаясь воздухом, который вовлекается в него.

Поскольку СВТ направлено в низкие широты, воздух, вовлекаемый в это течение, всегда теплее, чем воздух, который его покидает. Подобный воздухообмен приводит к постепенному повышению температур и влажности воздуха, участвующего в СВТ, который, тем не менее, остается гораздо холодней, суше и плотнее, чем воздух, встречающийся на его пути. По указанной причине на всех участках земной поверхности, над которыми проходит СВТ, повышается атмосферное давление, что и приводит к образованию упомянутой выше полосы, во всех пунктах которой среднесуточное атмосферное давление повышается практически синхронно.

Так как в пределах такой полосы, атмосферное давление выше, чем за ее пределами, пересечение подобной барической неоднородности любыми другими течениями тропосферы, которые располагаются субзонально (и потому содержат менее плотный воздух), невозможно.

Теплые и влажные воздушные массы, которые участвуют в Западном переносе, достигнув западной периферии рассматриваемой барической неоднородности, отклоняются к северу. При этом они охлаждаются, что приводит к выпадению на соответствующих участках земной поверхности атмосферных осадков [11].

Такая же область повышенного давления, включающая Крымский полуостров или акваторию Западной части Черного моря, на время своего существования блокирует поступление на его территорию воздушных масс и с Атлантики, и со Средиземного моря. При этом к востоку от нее накапливается воздух, поступающий с севера (сухой, холодный и плотный) и формируется блокирующий антициклон [12, 13].

В зимние месяцы это явление приводит к резкому усилению в любых пунктах Крыма морозов, которое сопровождается полным прекращением выпадения атмосферных осадков. В летние месяцы оно также вызывает прекращение выпадения в них фронтальных или циклонических осадков, а температуры воздуха достигают максимальных уровней, что может спровоцировать засуху [14].

Чем больше СП СВТ, тем больше объем сухого и холодного воздуха, который доставляется данным процессом в рассматриваемый регион. Чем оно больше, тем зимой во всех его пунктах ниже соответствующие им минимальные температуры воздуха, а летом выше их максимальные уровни, тем меньше в любой сезон и суммы выпадающих атмосферных осадков [2, 5].

На Крымском полуострове выпадающие за зимний сезон атмосферные осадки являются основном источником водоснабжения всех его поверхностных и подземных водотоков. Минимальные зимние температуры и максимальные летние температуры в наибольшей мере влияют на безопасность жизнедеятельности населения любых его населенных пунктов и определяют оптимальные характеристики возводимых здесь зданий и инженерных сооружений [15].

Одной из характеристик природного процесса, учет которой необходим при его прогнозировании, является современная тенденция изменений его состояния. Ее количественной мерой может служить значение углового коэффициента соответствующего временного ряда [16]. Следовательно, изложенное дает все основания предполагать, что оценка значений данного показателя для временных рядов СП за зимний и летний сезоны СВТ, при которых блокирующие антициклоны располагаются и над территорией Крымского полуострова, позволило бы во многом решить рассматриваемую проблему. Тем не менее, ранее имевшие место попытки нахождения таких ее решений успеха не имели.

Поэтому целью данной работы является выявление причин подобных неудач, их устранение, а также оценка возможностей применения рассматриваемых связей при выявлении современных тенденций климатической изменчивости рассматриваемых процессов в пунктах Крыма, где метеорологических наблюдений ранее не проводилось.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для выявления тенденций изучаемых процессов необходимо располагать временными рядами их показателей, которые содержат максимально полную и достоверную информацию, а также охватывают достаточно продолжительный период времени. Поэтому логично предположить, что причиной упомянутых неудач является неточность информации об изменениях СП изучаемых СВТ, которая содержится во временных рядах, сформированных с использованием упомянутой методики.

Опыт применения данной методики свидетельствует о том, что ей свойственны

недостатки и более существенные, чем высокая трудоемкость и незащищенность от антропогенных ошибок.

Один из них состоит в невозможности с ее помощью выявлять СВТ над участками земной поверхности, где атмосферное давление при этих процессах повышается, но не достигает уровня 1015 гПа. Подобные «пропуски» возможны, если такие течения пересекают глубокие и обширные барические депрессии. В качестве примера, на рисунке 1 (который построен с использованием метода триангуляции Делоне [17]) сопоставлены расположения участков земной поверхности, где 18.03.2010 г. среднесуточное атмосферное давление превышало 1015 гПа, с расположениями ее участков в зоне между параллелями 40° с.ш. и 70° с.ш., где в эти сутки оно было выше, чем в предыдущие.

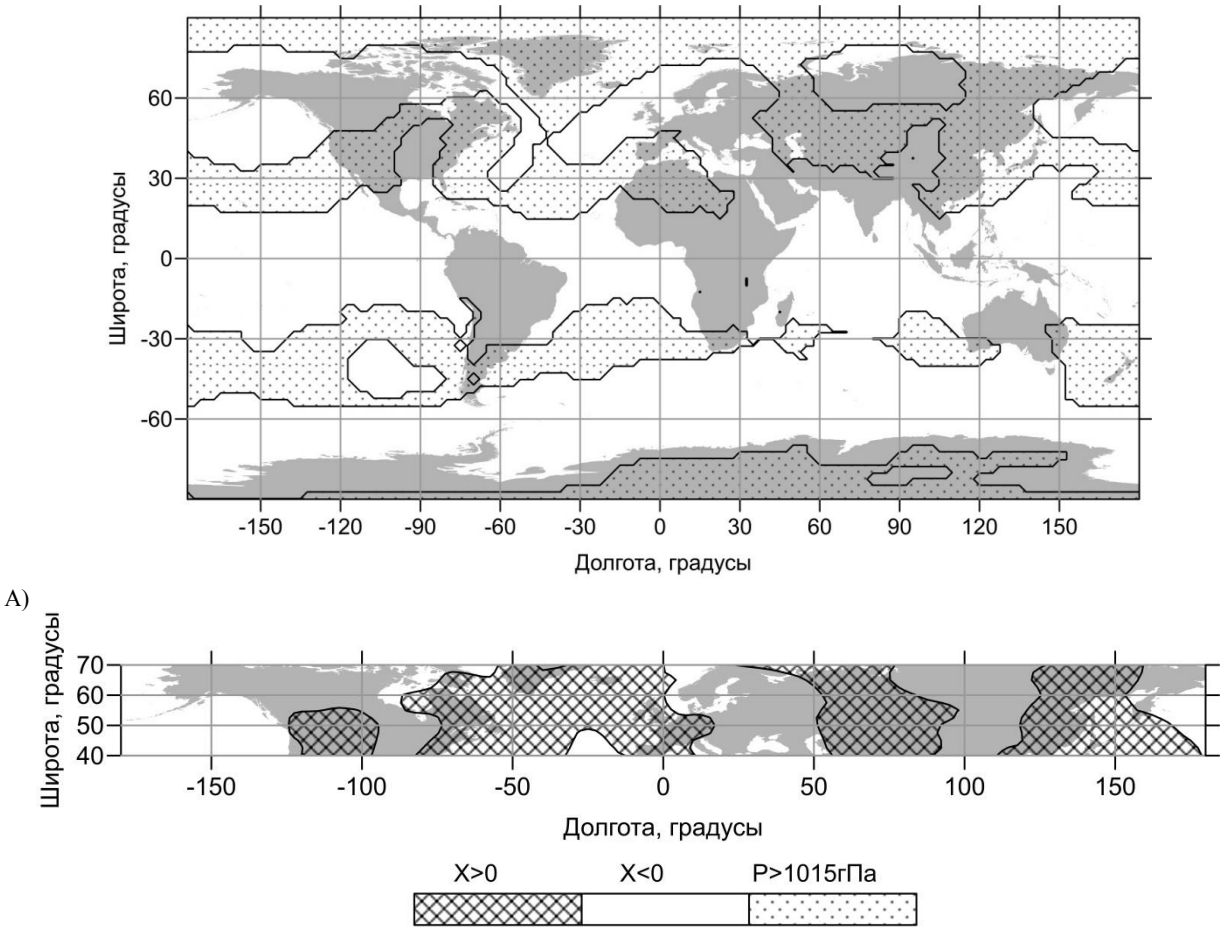


Рис. 1. Расположения участков земной поверхности, где 28.03.2010 г. среднесуточное атмосферное давление: (А) превышало 1015 гПа; (Б) в зоне между параллелями 40° с.ш. и 70° с.ш., оно было больше, чем в предыдущие сутки

Fig. 1. Areas of the earth's surface, where on March 28, 2010, the average daily atmospheric pressure: (A) exceeded 1015 hPa; (B) was higher than it was the day before in the zone between 40N and 70N

Из рисунка 1А видно, что 28.03 существовало три области, локализующие участки, где атмосферное давление (Р) в зоне между параллелями 40° с.ш. и 70° с.ш. превышает 1015 гПа. Одна из них связывает сегмент Арктического антициклона, расположенный над морем Лаптевых, с Монгольским антициклоном, вторая, – проходит через Карское море к Субтропическому антициклону, находящемуся над Средней Азией, а третья, буквально по единственному меридиану, соединяет Гренландский антициклон с Азорским максимумом. Очевидно, что при большем шаге по долготе между узлами координатной сетки реанализа, третья область наверняка была бы быть пропущена.

В Южном полушарии аналогичных областей не выявлено, что противоречит выводам Б. Л. Дзердзеевского о симметрии соответствующих макроциркуляционных процессов [18].

Из рисунка 1Б следует, что все те же области отображены на и нем, как участки земной поверхности, во всех пунктах которых 28.03.2010 г. среднесуточное атмосферное давление было выше,

чем накануне (т.е. X>0). Из него видно также, что диапазон значений долготы, где в указанные сутки атмосферное давление между Гренландским антициклоном и Азорским повысилось, гораздо шире, чем на рисунке 1А. «Пропустить» столь обширную область, выявив две другие, невозможно.

Образование показанных на рисунке 1Б областей, во всех пунктах которых, расположенных между параллелями 40°с.ш. и 70°с.ш., в рассматриваемые сутки X>0, может быть следствием возникновения СВТ. А какова вероятность такого событья в результате случайного совпадения?

Для ответа на этот вопрос логично исходить из того, что повышение либо понижение атмосферного давления в любом пункте, которое происходит случайно, равновероятно и не зависит от его изменений в соседних узлах координатной сетки. Поэтому вероятность синхронного повышения среднесуточного атмосферного давления во всех 13 узлах координатной сетки, расположенных на одном меридиане, между 40°с.ш. и 70°с.ш., может быть вычислена как $P=(0,5)^{13}=0,000122$. Подвижных антициклонов, которые имели бы такую протяженность по широте и были бы способны перемещаться столь быстро, что подобное явление могло бы наблюдаться, не известно. Следовательно, вывод о том, что выявленная дополнительная область повышенного давления образовалась в результате СВТ, которое «было пропущено» традиционной методикой, достоверен с весьма высокой вероятностью.

Аналогичным образом установлено, что применение данной методики может приводить и к «ложным тревогам» – идентификации как СВТ некоторых других синоптических процессов. Последнее наиболее характерно над Сибирью зимой при распространении в высокие широты Сибирского максимума, который иногда соединяется с Арктическим антициклоном.

Вследствие указанных выше особенностей рассмотренной методики, временные ряды СП СВТ, которые получены с ее помощью, не могут быть признаны полными и вполне достоверными. Поэтому и получаемые с их помощью оценки современных тенденций изменчивости СП СВТ для летнего и зимнего сезона могут быть для условий Крыма не вполне адекватны.

Следовательно, для достижения указанной цели в данной работе необходимо решить следующие задачи.

1. Совершенствование рассмотренной методики выявления СВТ, обеспечивающее снижение вероятностей ложной тревоги ($P_{лт}$) и пропуска ($P_{пр}$) при их обнаружении в изучаемом регионе.

2. Для СВТ, при которых блокирующий антициклон располагается над Крымом или Западной частью Черного моря, формирование временных рядов их СП для летнего и зимнего сезона.

3. Оценка современных тенденций изменения СП рассматриваемых СВТ, определение по ним тенденций климатической изменчивости летних и зимних экстремальных температур и сумм атмосферных осадков в Крыму.

При решении указанных задач в качестве фактического материала использован реанализ среднесуточных значений приведенного к уровню моря атмосферного давления NCEP/ NCAR, в котором информация о значениях данного показателя представлена за период 1.01.1948 – 31.12.2017 гг. для всех пунктов земной поверхности, соответствующих узлам координатной сетки с шагом 2,5°x2,5° [18].

Так как одним из эффективных путей повышения качества методики обнаружения природных процессов является более полное и точное использование априорной информации об их свойствах, было решено пойти именно этим путем. Принималось во внимание, что при возникновении СВТ среднесуточное атмосферное давление в некоторых пунктах земной поверхности, которые расположены на его пути между параллелями 40° с.ш. и 70° с.ш., всегда увеличивается по отношению к его уровню в предыдущие сутки, но может не достигать уровня 1015гПа. Рассматривались СВТ, для которых СП составляло не менее 3 суток, так как менее продолжительные процессы существенного блокирующего эффекта на атмосферную циркуляцию не оказывают.

В качестве основных качественных характеристик методики обнаружения изучаемых процессов рассматривались вероятности их ложной тревоги ($P_{лт}$) и пропуска ($P_{пр}$) при ее применении.

Подтверждением наличия преимущества предлагаемой методики выявления СВТ по отношению к методике упомянутой выше может служить уменьшение при ее применении значений $P_{лт}$ или $P_{пр}$, которые оценены за период 1.01.1948 – 31.12.2017 гг.

Следовательно, для оценки значений этих показателей при решении первой задачи исследовались законы распределения вероятности того, что значения разности среднесуточного атмосферного давления в рассматриваемых пунктах в текущие сутки по отношению к его значению для предыдущих суток являются положительными либо при наличии над ними СВТ, либо при его отсутствии.

При этом, с применением традиционной методики, за период 1.01.1948 – 31.12.2017 гг. выявлены все отрезки времени продолжительностью не менее 3 суток, в течении которых Крымский полуостров располагался на пути тех или иных СВТ или непосредственно к востоку от них.

Для всех суток, относящихся к этим отрезкам времени, с использованием [18] вычислены разности среднесуточного атмосферного давления в некотором пункте по отношению к значениям данного показателя в том же пункте для суток,

которые непосредственно предшествуют их началу. Подобные расчеты выполнены для всех пунктов, которые расположены на меридианах 27,5° – 35°в.д. и между параллелями 40° с.ш. и 70° с.ш. По полученным результатам построена гистограмма распределения вероятностей повышения атмосферного давления в любом из этих пунктов для случая, когда СВТ имело место. Таким же образом с использованием значений разностей атмосферного давления для тех же пунктов и суток, не относящихся к указанным отрезкам времени, построена гистограмма распределения вероятностей повышения атмосферного давления для случая, когда СВТ отсутствовало.

Для обоих случаев с использованием корреляционного анализа и критерия Стьюдента проверена адекватность гипотезы о том, что в различных изучаемых пунктах изменения разностей рассматриваемых показателей как в совпадающие сутки, так и в разные сутки, независимы.

В качестве ложной тревоги рассматривалось событие, при котором решение об обнаружении СВТ принималось при условии, что этот процесс в действительности отсутствовал. Как пропуск СВТ рассматривалось событие, при котором решение о его отсутствии принималось в случае, если данный процесс в действительности имел место.

При решении второй задачи значения СП СВТ вычислялись для каждого зимнего сезона (с 1 декабря до 1 марта) и каждого летнего сезона (с 1 июня до 1 сентября) годов 1948–2017. Учитывались СВТ, при которых среднесуточное атмосферное давление синхронно повышалось во всех рассматриваемых пунктах, расположенных на меридианах 27,5° – 35°в.д. и оставалось повышенным в течение не менее трех суток.

При решении третьей задачи в качестве характеристики современной тенденции каждого изучаемого процесса оценено значение углового коэффициента линейного тренда соответствующего ему временного ряда СП СВТ. Учитывая представления [10] о смене периодов III циркуляционной эпохи для Северного полушария, это значение оценивалось за последние 20 лет (1998–2017 годы).

Решение о том, что в изменениях зимних экстремальных температур, а также сумм атмосферных осадков зимнего или летнего сезона в указанный период преобладала тенденция к их повышению, принималось, если оцененный за тот же период тренд СП соответствующих СВТ являлся убывающим. Для летнего сезона аналогичное решение в отношении экстремальных температур принималось, если тренд СП СВТ, происходивших в это время года, был возрастающим.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

При решении первой задачи установлено, что вывод о независимости случайных флюктуаций среднесуточных значений атмосферного давления в каких-либо пунктах Европейского сектора Северного полушария может быть признан адекватным с достоверностью не ниже 95%.

Гистограммы плотностей распределения вероятностей тех или иных значений разности атмосферных давлений в текущие сутки по сравнению с предыдущими сутками, в некотором пункте рассматриваемого региона, для случаев, когда СВТ над ним присутствует, а также когда его нет, представлены на рисунке 2.

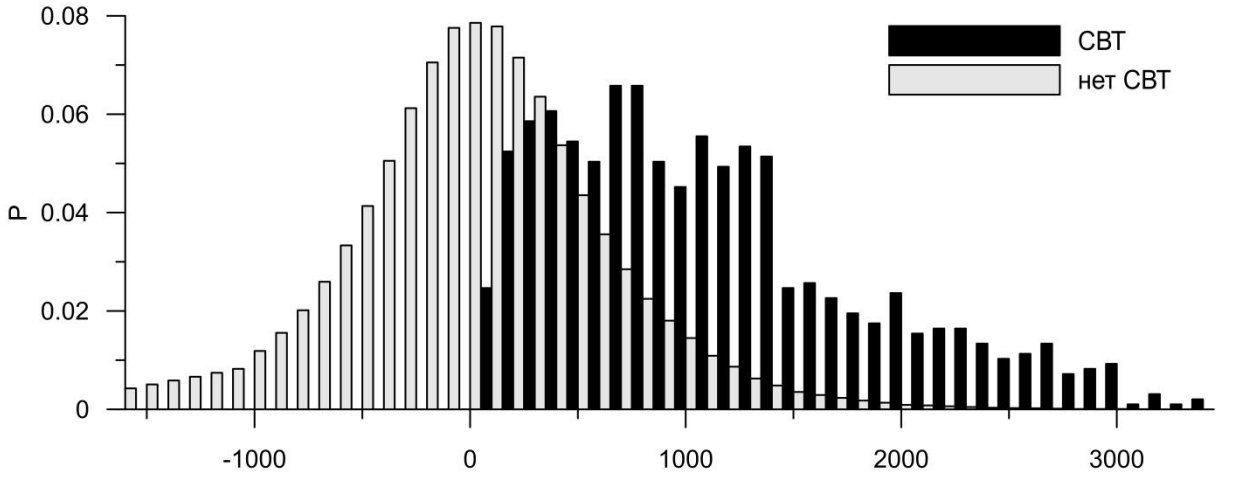


Рис. 2. Гистограммы распределений вероятностей разности атмосферных давлений в текущие сутки по сравнению с предыдущими сутками в некотором пункте рассматриваемого региона для случаев, когда СВТ над ним присутствует, а также когда его нет

Fig. 2. Histograms showing distribution of probabilities of the atmospheric pressure differences for the current day as compared with the previous day at some point of the region in question for cases of both presence and absence of SAC over it

Из рисунка 2 следует, что при выборе в качестве порога обнаружения СВТ нулевого уровня повышения атмосферного давления $P_{пр} = 0$, а $P_{лт} = 0,5$. Поэтому при использовании в качестве критерия выявления СВТ условия о том, что среднесуточное атмосферное давление в каждые из трех последовательных суток больше, чем в предшествующие сутки, во всех пунктах, расположенных между 40° с.ш. и 70° с.ш. и, как минимум, на одном меридиане $P_{лт} = 1,815*10^{-12}$ и $P_{пр} = 0$.

При оценке значений $P_{лт}$ и $P_{пр}$ для традиционной методики за фактические были приняты количества соответствующих событий, выявленных за период 1.01.1948 – 31.12.2017 гг., с использованием предложенной методики. Результаты подобных оценок представлены в таблице 1.

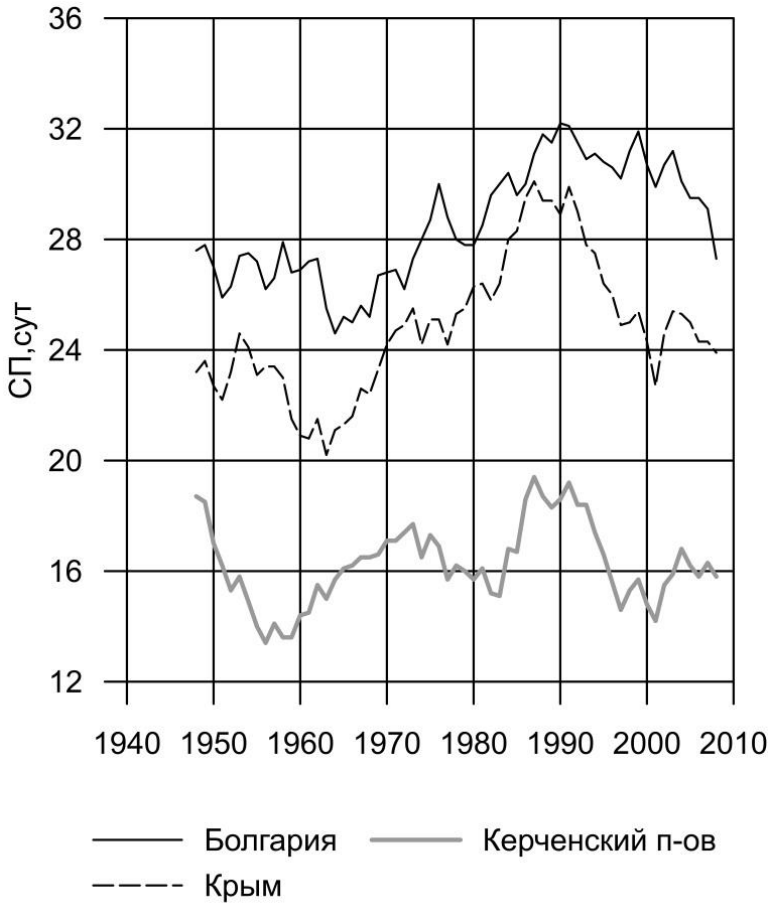
Таблица 1. Количества СВТ, влияющих на метеоусловия в Крыму, которые выявлены за период 1.01.1948 – 31.12.2017 гг., с применением предложенной (А) и традиционной (Б) методик, а также значения $P_{лт}$ и $P_{пр}$ для традиционной методики

Table 1. Numbers of submeridional air currents affecting the meteorological conditions in Crimea as identified during the period 1.01.1948 – 31.12.2017 using the proposed (A) and traditional (B) techniques, as well as the values of “False Alarm” probability and “Miss” probability for the traditional technique

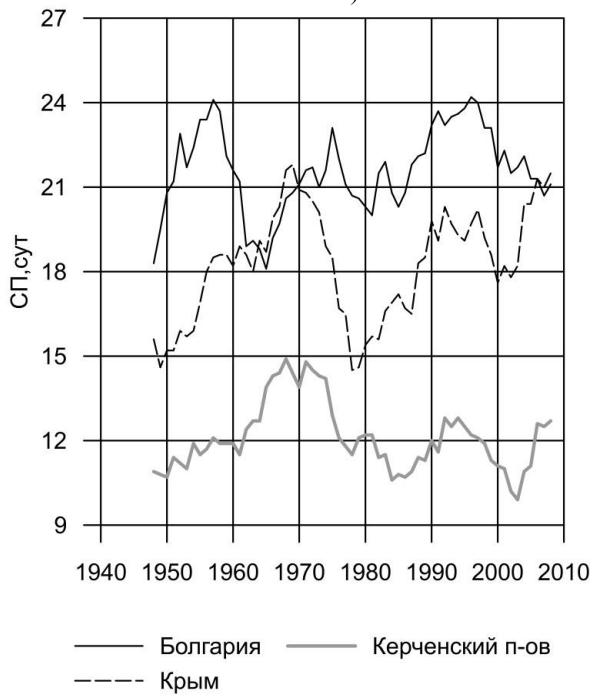
Сезон	А	Б	$P_{лт}$ (Б)	$P_{пр}$ (Б)
Зима	205	103	0	0,497
Весна	175	80	0	0,543
Лето	148	69	0	0,534
Осень	168	66	0	0,607

Как видно из таблицы 1, применение предложенной методики позволяет выявить гораздо большее количество СВТ, которые в период 1.01.1948 – 31.12.2017 гг. влияли на метеоусловия в Крыму, чем традиционная методика. При этом все СВТ, выявляемые по традиционной методике, предложенная методика позволяет обнаружить. Следовательно, предложенная методика, которая характеризуется существенно меньшими $P_{пр}$, в сравнении с традиционной методикой, а также практически такими же $P_{лт}$, в изучаемом регионе является более эффективной. Весьма существенным ее достоинством является и возможность полной автоматизации процесса выявления СВТ (ВАВ), что позволяет исключить антропогенные ошибки.

С использованием предложенной методики сформированы временные ряды СП рассматриваемых СВТ, которые соответствуют зимнему и летнему сезону, которые описывают сложные колебания. Зависимости от года начала десятилетия средних за него значений СП, оцененных для различных частей Крымского полуострова и Западной части Черного моря (Болгария), приведены на рисунке 3.



А)



Б)

Рис. 3. Зависимости от года начала десятилетия, средних за него значений СП, оцененных для различных частей изучаемого региона
А) Зимний сезон; Б) Летний сезон

Fig. 3. Dependences of SAC total duration average values on the first year of a decade, as estimated for different parts of the region in question
A) Winter season; B) Summer season

Из рисунка 2А следует, что для всей территории Крыма и акватории Западной части Черного моря, включая побережье Болгарии, СП СВТ зимнего сезона в современном периоде устойчиво снижаются. Рисунок 2Б показывает, что для изменений СП за летний сезон СВТ над территорией Крыма характерна тенденция к их увеличению. Из этого следует, что экстремальные температуры и зимнего, и летнего сезонов в Крыму повышаются, как и суммы осадков зимнего периода, однако суммы циклонических и фронтальных осадков летнего периода снижаются. Данный вывод полностью соответствует результатам наблюдений на метеостанциях Крыма. Это позволяет распространить его и на прочие пункты Крыма, где систематических метеонаблюдений не проводилось.

Одним из направлений практического применения предложенной методики может быть ее использование в целях обеспечения безопасности судоходства в Черном и Азовском морях. Это могут быть вопросы выработки рекомендаций по эксплуатации технических средств навигации в условиях экстре-мально высоких температур, оценка рисков и выработка предложений по учету гидрометеорологических факторов при плавании в Черном и Азовском морях, Керченском проливе и, особенно в районе Крымского моста, в условиях ледовой обстановки при экстремально низких температурах. Особый интерес вызывают те периоды возникновения СВТ над Крымом, когда непосредственно над полуостровом формируется спокойное барическое поле с хорошей погодой, характерной для антициклонов, но к западу (Западная часть Черного моря в ее Прибосфорском районе и у берегов Румынии и Болгарии) идут ливневые дожди, а зимой снегопады, что ухудшает видимость и может вызывать обледенение палубы, трапов, антенн.

ВЫВОДЫ

Результаты исследований позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Причиной несоответствия между современными тенденциями изменений СП за зимний и летний сезон СВТ над Крымом, оцененных с использованием традиционной методики, а также фактической динамики экстремальных метеопараметров, которая наблюдалась на его метеостанциях в 1998-2017 гг., является неточность учета в данной методике априорной информации о свойствах этих процессов.

2. Предложенная методика выявления СВТ обеспечивает практически такие же $Р_{лт}$, но при этом значительно меньшие значения $Р_{пр}$ для данных процессов, возникающих над Крымом и Западной частью Черного моря. Применение предложенной методики позволяет устранить указанное несоответствие и применить полученные с ее помощью оценки современных тенденций изменчивости СП СВТ для оценки тенденций динамики изучаемых процессов в пунктах Крыма, где их мониторинг не производился.

3. Предложенная методика может быть использована для повышения безопасности судоходства в Черном и Азовском морях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубинин М., Поспелов И. Источники метеорологических данных на территорию РФ по станциям/ [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://gis-lab.info/ga/meteo-station-soursis.html

2. Холопцев А. В., Продолжительные арктические вторжения в Атлантическом секторе и атмосферные осадки в Крыму./ А.В. Холопцев, Е.Н. Катунина, Т.Ю. Тимошенко //Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. География, Геология. Том 3(69). -№2. -2017. С251-267.

3. Думанская И.О., Федоренко А.В. Анализ связи ледовых характеристик морей европейской части России с макроциркуляционными атмосферными процессами // Метеорология и гидрология. –2008. – № 12. – С. 82–94.

4. Кононова, Н.К. Особенности циркуляции атмосферы Северного полушария в конце XX – начале XXI века и их отражение в климате [Текст] / Н.К. Кононова // Сложные системы. – 2014. – № 2 (11). – С. 11–36.

5. Холопцев А. В. Арктические блокинги и поверхностные температуры на Европейской территории России. /А.В. Холопцев, Н.К. Кононова, Т.Ю.Тимошенко//Жизнь Земли. - 2017.- т.39. - №1. –С20-32.

6. Дзердзеевский, Б.Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере Северного полушария в XX столетии // Материалы метеорологических исследований. изд. ИГ АН СССР и Междувед. Геофиз. Комитета при Президиуме АН СССР..М. - 1968. – 240с.

7. Савина С.С., Хмелевская Л.В. (1984). Динамика атмосферных процессов северного полушария в XX столетии. Междуведомственный Геофизический. комитет при Президиуме АН СССР. Материалы метеорологических исследований № 9. Москва, 146 с.

8. Дзердзеевский Б.Л., Курганская В.М., Витвицкая З.М. (1946). Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов. Тр. н.-и. учреждений Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Сер. 2. Синоптическая метеорология; Вып. 21. Центральный институт прогнозов. М., Л., Гидрометиздат, 80 стр.

9. Колебания циркуляции атмосферы Северного полушария в XX – начале XXI века [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.atmospheric-circulation.ru

10. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б. Л. Дзердзеевскому. //М. ИГ РАН.Воентехиниздат. - 2009. – 372с.

11. Sulby M. L. Fundamentals of Atmospheric Physics/ M. L. Sulby. – New York: Academic Press. - 1996. -560p.

12. Шакина Н. П. Блокирующие антициклоны: современное состояние исследований и прогнозирование/ Н. П. Шакина, А. Р. Иванова// Метеорология и гидрология. - 2010.- №11. –С5-18.

13. Мохов И. И. Блокинги в Северном полушарии и Евро-Атлантическом регионе: оценки изменений по данным реанализа и модельным расчетам /И. И. Мохов, М. Г. Акперов, М. А. Прокофьева//Доклады Академии наук. -2013. -том 449. -№5. – С.1-5.

14. Семёнова И.Г. Роль процессов блокирования в формировании засух на Украине / И.Г. Семёнова // Труды ГГО им. Воейкова. – 2013. – Вып. 569. – С. 124-136.

15. Позаченюк Е. А. Современные ландшафты Крыма и сопредельных акваторий. Монография.// -Симферополь: Бизнес-информ. – 2009. – 672с.

16. Айвазян С.А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика и основы эконометрики. — М.:Юнити. - 1998. - 1022 с..

17. Скворцов А. В. Триангуляция Делоне и ее применение/ А. В. Скворцов.– Томск: Изд-во Томского государственного университета. -2002. - 128с.

18.Дзердзеевский, Б.Л. Сравнение главнейших закономерностей циркуляции атмосферы над Южным и Северным полушариями//Информ. бюл. Советской антарктической экспедиции. 1967. №65. С.58-68 (Б. Л. Дзердзеевский . Избр. Труды. М. Наука. -1975. –С149-158).

19. База данных. Результаты реанализа среднесуточных значений атмосферного давления. [Электронный ресурс]. Режим доступа: ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/ncep.reanalisis.dailyavgs/level sea/

REFERENCES

1. Dubinin M., Pospelov I. Sources of meteorological data on the territory of the Russian Federation by stations / [Electronic resource]. Access mode: http://gis-lab.info/ga/meteo-station-soursis.html

2. Holoptsev A.V., Prolonged Arctic invasions in the Atlantic sector and atmospheric precipitation in the Crimea./A.V. Kholoptsev, E.N. Katunina, T.Yu. Timoshenko // Scientists notes of the Crimean Federal University. V.I. Vernadsky. Geography, Geology. Volume 3 (69). -№ 2. -2017. S251-267.

3. Dumanskaya I.O., Fedorenko A.V. Analysis of the relationship of the ice characteristics of the seas of the European part of Russia with macro-circulation atmospheric processes // Meteorology and Hydrology. –2008. - № 12. - P. 82–94.

4. Kononova, N.K. Peculiarities of the atmosphere circulation in the Northern Hemisphere at the end of the XX - beginning of the XXI century and their reflection in the climate [Text] / N.K. Kononov // Complex systems. - 2014. - № 2 (11). - C. 11–36.

5. Kholoptsev A.V. Arctic blocks and surface temperatures on the European territory of Russia. / A.B. Kholoptsev, N.K. Kononov-va, T.Yu.Timoshenko // Life of the Earth. - 2017.-t.39. - №1. –C20-32.

6. Dzerdzeevsky, B.L. Circulating mechanisms in the atmosphere of the Northern Hemisphere in the twentieth century // Materials of meteorological research. ed. IG Academy of Sciences of the USSR and Between. Geophys. Committee at the Presidium of the Academy of Sciences of the USSR..M. -1968. - 240s.

7. Savina S.S., Khmelevskaya L.V. (1984). Dynamics of atmospheric processes

northern hemisphere in the twentieth century. Inter-household Geophysical. committee at

Presidium of the USSR Academy of Sciences. Materials of meteorological research № 9. Moscow, 146 p.

8. Dzerdzeevsky B.L., Kurganskaya V.M., Vitvitskaya Z.M. (1946).

Typification of circulation mechanisms in the northern hemisphere and

characteristic of synoptic seasons. Tr. N.-. institutions Ch. ex. hydrometeorol Service at the Council of Ministers of the USSR. Ser. 2. Synoptic meteorology; Issue 21. Central Institute of Forecasts. M., L., Gidrometizdat, 80 pp.

9. Atmospheric circulation oscillations in the Northern Hemisphere in the 20th - early 21st century [Electronic resource] / Access mode: http://www.atmospheric-circulation.ru

10. Kononova N.K. Classification of circulatory mechanisms of the Northern Hemisphere according to B. L. Dzerdzeevsky. // M. IG RAS.Voentekhinizdat. - 2009. - 372s.

11. Sulby M.L. Fundamentals of Atmos-pheric Physics / M.L. Sulby. - New York: Academic Press. - 1996. -560p.

12. Shakina N. P. Blocking anti-cyclones: current state of research and forecasting / N. P. Shakina, A. R. Ivanova // Meteorology and Hydrology. - 2010.- №11. - C5-18.

13. Mokhov I. I. Blocking in the Northern hemisphere and the Euro-Atlantic region: estimates of changes according to reanalysis data and model calculations / And. I. Mokhov, M. G. Akperov, M. A. Pro-kofyeva // Reports of the Academy of Sciences. - 2013. volume 449. -№5. - C.1-5.

14. Semenov I.G. The role of blocking processes in the formation of droughts in Ukraine / I.G. Semenov // Proceedings of the GGO. Voeikov. - 2013. - Vol. 569. - p. 124-136.

15. Pozachenyuk E. A. Modern Lands of the Crimea and adjacent waters. Mono-graphy. // - Simferopol: Business-inform. - 2009. - 672s.

16. Ayvazyan S.A., Mkhitaryan V.S. Applied Statistics and Basics of Econometrics. - M.: Unity. - 1998. - 1022 s.

17. Skvortsov A.V. Delaunay triangulation and its application / A.V. Skvortsov.– Tomsk: Publishing house of Tomsk State University. -2002. -128s.

18. Dzerdzeevsky, B.L. Comparison of the main regularities of atmospheric circulation over the southern and northern hemispheres, Inform. bullet Soviet Antarctic Expedition. 1967. No. 65. P.58-68 (B.L. Dzerdzeevsky. Fav. Works. M. Nauka. -1975. – C149-158).

19. Database. Results of reanalysis of average daily values of atmospheric pressure. [Electronic resource]. Access Mode: ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/ncep.reanalisis.dailyavgs/level sea /

INVASION OF ARCTIC AIR AND CURRENT CLIMATE VARIABILITY OF EXTREME TEMPERATURES AND TOTAL PRECIPITATION IN CRIMEA

Kholoptsev A.V., Podporin S.A. , Kurochkin L.Ye.

Summary. The paper addresses current trends in climatic variability of maximum summer and minimum winter air temperatures, as well as total atmospheric precipitation during the same seasons, in those parts of Crimea where the above indicators have not been systematically monitored before. We also study total duration (TD) of Arctic air invasions (AAI), during which Crimean region was under influence of a blocking anticyclone. The objectives of our research include identification of causes of the appearing discrepancy between the estimates of the indicators in question, based on the results of AAI TD determination, and the actual information obtained from the Crimean meteorological stations, their elimination, and investigation of the possibility of identifying these indicators for those parts of Crimea where no meteorological observations have been conducted. To achieve the stated objectives, we have revealed the deficiencies of the traditional technique of AAI detection. An alternative criterion for their detection has been proposed, which allows to fully automate this procedure, as well as to apply NCEP / NCAR reanalysis in solving the problem. We have also studied probability distributions of the proposed criterion values for cases when AAI were detected over Crimea or the western part of the Black Sea, as well as for cases when they were absent. This allowed to choose the detection threshold for the processes in question, as well as to estimate probabilities of missing them and probabilities of false alarms when both the improved and the traditional techniques were used. We have proved that the probability of missing an AAI when using the proposed technique is much smaller, whereas the probability of false alarms is practically the same. The proposed technique allows to eliminate the mentioned discrepancy; its results can be used to estimate current trends in the variability of the meteorological conditions under consideration in those parts of Crimea where no observations have been carried out before. The results obtained in such a way are particularly of interest when planning various construction projects, as well as improving water supply systems in those localities of Crimea.

The subject of the research: current trends in climatic variability of maximum summer and minimum winter air temperatures, total atmospheric precipitation during the same seasons in those parts of Crimea where the above indicators have not been systematically monitored before, as well as total duration of the Arctic air invasions during which Crimean region was under influence of a blocking anticyclone.

Materials and methods: As the factual material, we used NCEP/NCAR reanalysis of the average daily values of atmospheric pressure reduced to the World Ocean level. The methods used included comparative method, statistical method, correlation analysis, and Student's test.

Results: We have revealed deficiencies of the traditional technique of AAI detection and proposed an alternative criterion allowing to fully automate this procedure and apply NCEP/NCAR reanalysis in solving the stated problem. We have also studied probability distributions of the proposed criterion values for cases when AAI were detected and also when they were absent, which allowed to choose a threshold for their detection. We have proved that the probability of missing an AAI when using the proposed technique is much smaller, whereas the probability of false alarms is almost the same. The proposed technique allows to eliminate the mentioned discrepancy while its results can be used to estimate current trends in the variability of the meteorological conditions under consideration in those parts of Crimea where no observations have been carried out before.

Conclusions: The cause of the discrepancy between the current trends of TD changes of submeridional air currents (SAC) during the winter and summer seasons over Crimea, as estimated using the traditional technique, as well as the actual dynamics of extreme meteorological parameters as observed at local meteorological stations in 1998-2017, is the inaccuracy of accounting for the a priori information pertaining to the properties of these processes. The proposed technique for detecting SAC, which more accurately accounts for this information, provides practically the same values of false alarm probability, however the values of “miss” probability of these processes over Crimea and the western part of the Black Sea are substantially smaller. As a result of applying this technique, the discrepancy has been eliminated, which allows to use the obtained estimates of current trends in the variability of TD of SAC for assessment of trends in the dynamics of the processes under consideration in those parts of Crimea where no observations have been carried out before.

Key words: submeridional air currents, Arctic air invasions, Crimea, total duration, extreme air temperatures, total atmospheric precipitation of summer and winter seasons

УДК 631.6.02:332.025

ПОДХОДЫ К РЕАЛИЗАЦИИ ПРАВ ЧЕЛОВЕКА НА БЛАГОПРИЯТНУЮ ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Захаров Р.Ю, Ковалёв А.А., Волкова Н.Е

ФГАОУ ВО КФУ им. В.И.Вернадского, Академия строительства и архитектуры
295493, г. Симферополь, ул. Киевская, 181, e-mail: zakharovr@mail.ru, kovaland59@mail.ru
ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»
295493, г. Симферополь, ул. Киевская, 150, e-mail: volkova_n@niishk.ru

Аннотация. В мировом сообществе каждый человек имеет право на благоприятную окружающую среду. Обеспечение устойчивого функционирования естественных экологических систем, природных и природно-антропогенных объектов – одна из основных функций государства в целом, органов законодательной и исполнительной власти, муниципальных образований, каждого человека. Однако не всегда реализуемые механизмы дают положительный результат. К примеру, в Республике Крым большая часть прудов находится в ведении муниципалитетов. Только на незначительную часть этих водных объектов получено специальное разрешение на их использование, что в свою очередь предполагает ответственность водопользователей за состояние этих прудов. У самих же муниципалитетов нет в наличии достаточного финансирования для поддержания оставшихся водоаккумулирующих сооружений в хорошем экологическом и техническом состоянии. В результате повышается вероятность аварийных ситуаций на прудах, к тому же ухудшается санитарно-эпидемиологическая ситуация не только на них, но и на прилегающих территориях. В мировой практике можно выделить три основных подхода к решению характерных для водных объектов Республики Крым проблем. Это: законодательно-правовой механизм (получение соответствующих разрешений, прав на пользование природными объектами; штрафы); рыночные рычаги (налоги); повышение экологического образования. Только сочетание этих подходов может позволить улучшить текущую экологическую ситуацию и гарантировать право человека на благоприятную окружающую среду.

Предмет исследования: подходы к реализации прав человека на благоприятную окружающую среду, на примере водных объектов. В Крымском регионе реализация на практике действующих механизмов управления экологической безопасностью водохозяйственных систем не всегда способствует решению сложившихся проблем. Это в свою очередь требует их усовершенствования. Подобные проблемы были характерны и для других стран, однако они были успешно решены, поэтому в ряде случаев для улучшения сложившейся в Крымском регионе ситуации можно было бы использовать мировой опыт, адаптированный к условиям Республики Крым.

Материалы и методы: в данном исследовании на примере водных объектов Республики Крым, как неотъемлемой составляющей окружающей среды для населения региона, планируется выделить основные проблемы, ведущие к ухудшению их экологического состояния и раскрыть, как эти проблемы решаются в других странах мира и регионах РФ.

Результаты: перечень проблем, ведущих к неэффективному использованию водных объектов и ухудшению экологической обстановки на них, и примеры их решения из мировой практики.

Выводы: для улучшения текущей экологической ситуации и гарантирования права человека на благоприятную окружающую среду необходима реализация сочетания сразу трех подходов: законодательно-правового механизма (получение соответствующих разрешений, прав на пользование природными объектами; штрафы), рыночных рычагов (налоги), повышения экологического образования, так как они взаимно обуславливают и дополняют друг друга.

Ключевые слова: благоприятная окружающая среда, водные ресурсы, законодательно-правовой механизм, экологическая милиция, рыночные рычаги, экологическое образование.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно ст. 42 Конституции РФ «каждый имеет право на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью или имуществу экологическим правонарушением». Причем под благоприятной окружающей средой понимается поддержание устойчивого функционирования естественных экологических систем, природных и природно-антропогенных объектов [1]. Следует подчеркнуть, что это право так же предполагает ответственность человека за свои действия. Вопросы поддержания благоприятной экологической обстановки довольно подробно прописываются в законодательстве каждой страны. В Российской Федерации к таким документам относятся: Конституция; ФЗ «Об охране окружающей среды»; Водный, Лесной, Земельный кодексы; законы «О недрах», «О

животном мире», «Об охране атмосферного воздуха» и мн.др. Однако реализация на практике заложенных в этих документах основ и правил не всегда позволяет поддерживать благоприятную экологическую обстановку, что в свою очередь свидетельствует о необходимости усовершенствования нормативно-законодательной базы, процесса надзора и контроля, формирования у каждого человека бережного отношения к окружающей природной среде.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросом совершенствования подходов к реализации права человека на благоприятную среду занимались: Казанник А.И., Габричидзе Б.Н., Лаптев И.П., Столяренко В.М., Лебедева А.Н., Лаврик О.Л., Тюлин Т.Р., Блудова С.В., Ветрова Н.М. и мн.др. Результаты проведенных ими исследований нашли отражение в ряде публикаций [1-8]. Данные работы объединяет общий вывод: необходимо совершенствование управленческого аппарата в сфере обеспечения благоприятной экологической обстановки. Довольно интересный подход в своей статье «Экологическая полиция в системе природоохранительных органов Российской Федерации» изложил Казанник А.И. «охрана окружающей природной среды и рациональное использование природных ресурсов представляют собой две самостоятельные сферы государственного управления». Поэтому, по мнению автора, необходимо воссоздать Министерство охраны природы Российской Федерации, поручив ему выполнение функций по выработке государственной экологической политики, нормативно-правовому регулированию охраны окружающей природной среды и обеспечению экологической безопасности, координации в этой сфере управления деятельности всех министерств, федеральных служб и агентств [2]. В большинстве работ подчеркивается, что в настоящее время существует ряд проблем экологического характера, которые необходимо решить, при этом акцентируется внимание только на наиболее существенных из них, в понимании того или иного автора. Поэтому при решении поставленных задач внимание сосредотачивается на каком-то одном подходе, например, создании экологической милиции. Однако достижение благоприятной экологической обстановки требует сочетания усовершенствованных законодательно-правового механизма, рыночных рычагов и повышения экологического образования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель данной работы – на примере водных объектов Республики Крым, как неотъемлемой составляющей окружающей среды для населения региона, выделить основные проблемы, ведущие к ухудшению их экологического состояния и раскрыть, как эти проблемы решаются в других странах мира и регионах РФ. Это позволит оценить общую ситуацию, сложившуюся в сфере водопользования, и наметить пути улучшения текущего экологического состояния водных объектов Крымского региона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Вода – это неотъемлемая составляющая существования человека. В настоящее время многие специалисты называют «водный вопрос» одним из наиболее серьезных вызовов человечеству в будущем. По мнению экспертов ООН в 21 в. вода станет более важным стратегическим ресурсом, чем нефть и газ.

В Республике Крым можно выделить множество проблем, влияющих на экологическую безопасность водных экосистем. Условно разделим их на две основные группы: обусловленные изменением качественных показателей и количественных. К первой группе проблем в первую очередь следует отнести отсутствие централизованной канализации в ряде населенных пунктов. Ниже в таблице 1 приведена информация о количестве населенных пунктов, жители которых пользуются услугами централизованного водоотведения, а в таблице 2 результаты исследования, проведенного специалистами ассоциации «Экология и мир» по оценке качества воды в родниках на территории г. Симферополя, который канализован не полностью.

Таблица 1. Количество населенных пунктов, жители которых пользуются услугами централизованного водоотведения

Table 1. The number of settlements which inhabitants use services of the centralized water disposal

Наименование административно-территориального подразделения	Количество населенных пунктов, шт	Населенные пункты, жители которых пользуются услугами централизованного водоотведения	
		шт.	%
1	2	3	4
Алушта	26	10	38
Армянск	4	2	50
Джанкой	1	1	100
Евпатория	4	4	100
Керчь	1	1	100
Красноперекопск	1	1	100
Саки	1	1	100
Симферополь	6	6	100
Судак	16	5	31
Феодосия	18	7	39
Ялта	32	20	63
Бахчисарайский	85	8	9
Белогорский	80	7	9
Джанкойский	113	4	4
Кировский	40	6	15
Красногвардейский	84	7	8
Красноперекопский	38	3	8
Ленинский	68	8	12
Нижнегорский	58	3	5
Первомайский	42	1	2
Раздольненский	41	2	5
Сакский	79	12	15
Симферопольский	109	35	32
Советский	38	1	3
Черноморский	34	2	6
Итого	1019	157	15

Таблица 2. Качественный состав воды родников, расположенных на территории г. Симферополь [9]
Table 2. Qualitative composition of water of the springs located in the territory of Simferopol [9]

Место отбора пробы	Показатель				
	нитраты, мг/л	жесткость общая, мг-экв/л	сухой остаток, мг/л	сульфаты, мг/л	коли-индекс
около кинотеатра "Симферополь"	94,4	9,2	-	-	360
ул. Титова	88,4	10	-	-	230
ул. Данилова	61,6	7	601,0	46,1	351
ул. Кечкеметская	85,8	13,6	1924,0	667,4	603
микрорайон Загородный	65,1	6,6	736,0	81,5	189
ул. Воровского	102,3	7,6	-	-	387
Норматив (СанПин 2.1.4.1175-02)	≤45	≤7	≤1500	≤500	0

Из анализа таблицы 1 наглядно видно, что услугами централизованного водоотведения в настоящее время пользуются жители 157 населенных пунктов (15% от их общего количества), в большинстве случаев это города и поселки городского типа. В свою очередь результаты, приведенные в таблице 2, показывают, к чему может привести отсутствие канализационных систем и очистных сооружений. Из анализа таблиц 2 наглядно видно, что по всем приведенным объектам было зафиксировано существенное превышение нитратов и коли-индекса. Данную воду нельзя использовать не только для питьевых целей, но и для полива огородов на приусадебных участках. Эти родники, питая реки, могут привести к ухудшения санитарно-эпидемиологической обстановки.

На изменение качественных показателей водных объектов так же влияют:

-замусоревание русел рек, водоемов, морей, их водоохраной зоны (рисунок 1а);

-несанкционированные свалки и сбросы загрязненных сточных и коллекторно-дренажных вод (рисунок 1б);

- отсутствие ливневой канализации.

Изменение количественных показателей, так же может привести к ухудшению качества воды в водных объектах. Уменьшение стока рек вследствие чрезмерного изъятия, строительства водоаккумулирующих сооружений требует в случае сброса ниже по течению загрязненных вод перерасчета норм предельно допустимых сбросов загрязняющих веществ. Обмеление водоемов в сочетании с их загрязнением биогенными элементами ведет к ускоренному развитию процессов эвтрофикации.

На изменение количественных показателей водных объектов влияют:

-несанкционированный водоотбор, превышение установленных лимитов;

-несогласованное строительство новых водоаккумулирующих сооружений, простаивание этих гидротехнических сооружений без использования собираемых в них водных ресурсов по установленным целям;

-вырубка лесов.

а)

б)

Рис. 1. Причины ухудшения качества воды в водных объектах: а) замусоривание русла реки (Малый Салгир в черте г. Симферополь), б) несанкционированные свалки (водоохранная зона р. Западный Булганак вблизи с. Фонтаны. Симферопольского района)

Fig. 1. The reasons of deterioration of water in water objects: a) pollution of the bed of the river (Small Salgir within Simferopol), b) unauthorized dumps (the water protection zone of river. The western Bulganak near page. Fountains, Simferopol district)

Отдельно хотелось бы остановиться на второй причине ухудшения количественных показателей водных объектов. В настоящее время в Республике Крым большая часть прудов находится в ведении муниципалитетов. Только на незначительную часть этих водных объектов получено специальное разрешение на их использование, что в свою очередь предполагает ответственность водопользователей за состояние этих прудов. У самих же муниципалитетов нет в наличии достаточного финансирования для поддержания оставшихся водоаккумулирующих сооружений в хорошем экологическом и техническом состоянии. А пруд – это сооружение, которое требует:

-регулярных наблюдений за наполнением, техническим состоянием этого комплекса гидротехнических сооружений (плотины или дамбы, водосбросного, водозаборного, водоотводящего сооружений);

-проведения текущих и капитальных ремонтов;

-осуществления очистки от заиления, удаления камыша;

-проведения обязательных экологических попусков вниз по течению;

-поддержание прибрежной и водоохраной зоны в не замусоренном состоянии.

К тому же согласно статье «Нерациональное использование прудов бассейна реки Салгир» потери на испарение и фильтрацию из прудов бассейна этой реки, предназначенных для целей орошения и фактически не используемых в настоящее время, составляют более 1,5 млн. $м^3$ [10]. А в характерных для Крымского региона вододефицитных условиях это является недопустимым.

Рассмотрим более подробно механизмы, используемые в водохозяйственной сфере Республики Крым для создания благоприятной среды проживания людей, и подходы к решению обозначенных выше проблем применяемые в других странах и субъектах РФ.

В законодательной литературе довольно подробно расписаны механизмы управления экологической безопасностью водных экосистем. Согласно Водному кодексу сюда можно отнести проведение государственного мониторинга водных объектов, осуществление гидрографического и водохозяйственного районирования, ведение государственного водного реестра, составление схем комплексного использования и охраны водных объектов, получение специального разрешения на пользование водным объектом. Если говорить о некрупных водных объектах, то из перечисленных выше механизмов, только три последние позволяют воссоздать общую ситуацию, и использовать их для разработки управленческих решений.

Государственный водный реестр создается в целях информационного обеспечения комплексного и целевого использования водных объектов, их охраны, а также планирования и разработки мероприятий по предотвращению негативного воздействия вод и ликвидации его последствий. Сведенья, приведенные в нем, используются для разработки «Схемы комплексного использования и охраны водных объектов», «Программы ведения регулярных наблюдений за водным объектом и его водоохраной зоной».

Схемы комплексного использования и охраны водных объектов включают в себя систематизированные материалы о состоянии водных объектов и об их использовании и являются основой осуществления водохозяйственных мероприятий и мероприятий по охране водных объектов, расположенных в границах речных бассейнов.

Основной задачей разработки Схем является формирование инструментария принятия управленческих решений по достижению устанавливаемых Схемами целевых показателей качества воды водных объектов рассматриваемого речного бассейна и уменьшения негативных последствий наводнений и других видов негативного воздействия вод.

Однако, Схема, как механизм управления экологической безопасностью водохозяйственной системы, не позволяет решать ряд проблемных моментов. «Вне поля зрения оказались проблемы обоснования стратегических решений, связанных с регулированием стока, планированием мероприятий по охране от вредного воздействия вод, развитием деятельности по строительству и реконструкции очистных сооружений на промышленных и коммунально-бытовых предприятиях и т.п.» [11].

Согласно Водному кодексу РФ ст. 11 п. 2 и 3 право пользования поверхностными водными объектами или их частями может быть получено на основании договора водопользования или решения о предоставлении водных объектов в пользование. То есть, в случае изъятия воды, использования акватории, сброса сточных или дренажных вод, строительства и реконструкции гидротехнических сооружений и т.п. необходимо получить специальное разрешение. Чтобы получить разрешение на пользование водным объектом, необходимо разработать и согласовать с Государственным комитетом по водному хозяйству и мелиорации Республики Крым (Госкомводхоз) «Программу ведения регулярных наблюдений за водным объектом и его водоохраной зоной». Хотелось бы подчеркнуть, что данный документ наряду с описанием места расположения водного объекта, его водоохраной зоны, цели использования, содержит информацию о расположении пунктов наблюдений за режимом водного объекта, показателях, которые будут отслеживаться. Разработка «Программы ведения регулярных наблюдений за водным объектом и его водоохраной зоной» как бы выступает гарантом того, что на эксплуатируемых водных объектах будут проводиться мероприятия, направленные на поддержание благоприятных экологической обстановки и технического состояния.

Как уже было отмечено выше только на незначительную часть прудов было получено специальное разрешение, а у муниципалитетов нет достаточного количества средств для поддержания на этих сооружениях благоприятных экологической обстановки и технического состояния. Таким образом, в настоящее время в нормативно-правовых актах Крымского региона следует прописать пути решения проблем, связанных с обеспечением экологической безопасности водных объектов.

Если рассматривать в этом отношении опыт других стран и субъектов РФ, то хотелось бы остановиться на следующих рычагах: экологическая милиция, совершенствование налоговой базы, повышение экологического образования. Первый из них является частью законодательно-правового механизма – это создание и обеспечение функционирования экологической милиции. В других субъектах РФ, а так же ряде стран при использовании данного рычага был получен положительный эффект. Так, в г. Москва за два года работы экологической милиции по материалам проверок было возбуждено 3923 уголовных дела, в том числе 3285 – о нарушении санитарно-эпидемиологических норм и правил, 367 – о нарушении законодательства об охране окружающей среды, 271 – о нарушении правил природопользования. В добровольном порядке и по решению судов государству был возмещен нанесенный природе ущерб на сумму около 30 млн. рублей [2]. Использование данного рычага позволит с одной стороны уменьшить количество нарушений экологического законодательства, с другой стороны будут получены дополнительные средства, которые можно было бы использовать на улучшение благоустройства территорий, поддержание в благоприятном экологическом состоянии водных объектов (в том числе и прудов, закрепленных за муниципалитетами). Однако при современном территориальном делении собственная экологическая милиция в каждом муниципальном образовании вряд ли целесообразна и экономически оправданна, но этот проект мог бы быть успешно реализован в рамках районов.

Второй относится к рыночным механизмам. В РФ предусмотрена выплата водного налога, платежей за превышение предельно допустимых концентраций. Причем водный налог касается, только забора воды и использования акватории водного объекта. В плане совершенствования налогового законодательства в водохозяйственной сфере довольно интересный опыт имеют Нидерланды. В этой стране управления водного хозяйства финансируют свою деятельность на индивидуальной основе почти полностью за счет поступлений от собственных налогов. Они включают налоги управления водного хозяйства и сбор за загрязнение вод. Поступления от налогов покрывают затраты на защиту от наводнений и управление количеством воды, тогда как затраты на управление качеством и очистку сточных вод финансируется из сбора за загрязнение. В среднем около 95% всех годовых инвестиционных расходов и затрат на управление и эксплуатацию покрываются за счет собственных поступлений управлений водного хозяйства.

Функционирование управления водного хозяйства основано на «участии заинтересованных сторон» и принципе прямой заинтересованности. То есть, кто получает выгоду – платят налог, но они так же имеют право голоса в управлении. Форма и сущность налогов управления водного хозяйства определяется рядом налоговых принципов, включая:

- принцип прямой выгоды;
- платит тот, кто загрязняет;
- принцип покрытия затрат;
- принцип солидарности;
- принцип законности.

Возникновение управлений водного хозяйства в Нидерландах относится к средним векам, когда фермеры сами на местном уровне начали объединяться для того, чтобы улучшить работу по управлению дамбами и польдерами. Эта форма самоорганизации финансировалась за счет местных средств. Изначально эти средства состояли из платежей в виде натурплаты, например, в виде поддержания в рабочем состоянии дамб, обваловываний и водных путей. Позднее эта система была заменена финансовыми взносами. Первоначально расходы делились на основании частного права между собственниками земли, заинтересованными в этих мероприятиях, кроме того, это давало возможность получить определенные привелегии. Недостатком натурплаты являлся тот факт, что не было гарантии, что необходимое обслуживание будет проведено вовремя и/или адекватно. Поскольку в оказании финансовой поддержки осуществления этих мероприятий заинтересовано было все сообщество, возникла необходимость в создании административной организации, работа которой надежно бы защищалась общественным правом. Землевладельцы поменяли свои обязанности по эксплуатации на обязательство оплаты соответствующих затрат. Эти расходы были разделены в соответствии с количеством земли, которой они располагают, а затем распределены на всех собственников земли.

Благодаря предоставлению организациям управления водного хозяйства административных и юридических полномочий, финансовые аспекты их деятельности становятся более интегрированными в общественное право. Несмотря на эту интеграцию, функциональный и децентрализованный характер управлений сохранился на протяжении веков. Этот факт оказывал постоянное влияние на особенность процесса налогообложения управлениями водного хозяйства. В основу этих налогов заложена заинтересованность людей в задачах, выполняемых этими управлениями. После 1920-ых гг. на городских территориях возросло число домовладельцев, имеющих растущую

заинтересованность в надежной защите от наводнений и в хорошем дренаже. Деятельность управлений водного хозяйства все больше стала фокусироваться на защите недвижимого имущества (зданий). Был учрежден налог «на здания», в результате чего эти строения так же начали облагаться налогом.

С недавнего времени все больше внимания стало уделяться решению задач, имеющих общие интересы (проживание, работа, отдых) на территории управления водного хозяйства. Принимая это во внимание, жители так же стали пропорционально облагаться налогом. С 1995 г. был введен отдельный налог для жителей, и эта категория так же стала иметь своих представителей в Правлении [12].

Говоря об использовании опыта Нидерландов, хотелось бы подчеркнуть, что часть сельскохозяйственных угодий и населенных пунктов располагается на территории водоохранных зон рек, озер, прудов, морей. Органы местного самоуправления, региональных отделений исполнительной власти, отвечающие за эти водные объекты, прикладывают усилия, делают финансовые капиталовложения, чтобы создать для людей благоприятные условия проживания и трудовой деятельности. Введение налога на землю и здания, находящиеся в пределах водоохранных зон, могли бы позволить данным органам власти получить дополнительные средства на решение перечисленных выше проблем.

Третий механизм – повышение экологического образования - это своего рода полноценный подход, без реализации которого нельзя говорить о дальнейшем улучшении ситуации в водохозяйственной сфере Республики Крым. Его внедрение позволит повлиять как на качественную, так и количественную составляющую водных экосистем. Как подчеркнула в своей статье «Муниципалы и экология» Н. Астахова необходимо начинать с подрастающего поколения. Обучение более целесообразно проводить в виде игр, викторин, функционирования кружков. Так, к примеру, на территории Сенного округа г. Санкт-Петербург был создан «Экоцентрум», где опытные преподаватели рассказывают детям об экологических проблемах. Проверка знаний при этом проходит в виде игры по 5 станциям: «Эмблема», «Водная лаборатория», «Экослед», «Экофото», «Услышьте нас» [13]. Это позволяет заинтересовать детей, проявить инициативу, при этом воздействие осуществляется не только на подрастающее поколение, но и на их родителей. Как авторы, мы считаем целесообразным создание подобных образовательных организации и на территории Крымского региона, причем основной упор в ведении обучающей деятельности необходимо сакцентировать на качестве воды, ее влиянии на производственную деятельность и здоровье человека и мероприятиях, предупреждающих ухудшение экологического состояния на водных объектах.

ВЫВОДЫ

В ходе проведенного исследования были сделаны следующие выводы:

-в мировом сообществе каждый человек имеет право на благоприятную окружающую среду. Обеспечение устойчивого функционирования естественных экологических систем, природных и природно-антропогенных объектов – одна из основных функций государства в целом, органов законодательной и исполнительной власти, муниципальных образований, каждого человека;

-не всегда реализуемые механизмы дают положительный результат. Так, к примеру, в Республике Крым большая часть прудов находится в ведении муниципалитетов. Только на незначительную часть этих водных объектов получено специальное разрешение на их использование, что в свою очередь предполагает ответственность водопользователей за состояние этих прудов, предоставление статистической информации. У самих же муниципалитетов нет в наличии достаточного финансирования для поддержания оставшихся водоаккумулирующих сооружений в хорошем экологическом и техническом состоянии;

-для улучшения текущей экологической ситуации и гарантирования права человека на благоприятную окружающую среду необходима реализация сочетания сразу трех подходов: законодательно-правового механизма (получение соответствующих разрешений, прав на пользование природными объектами; штрафы), рыночных рычагов (налоги), повышения экологического образования, так как они взаимно обуславливают и дополняют друг друга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тюлин Р.А. Административно-правовые принципы охраны окружающей среды // Правовая идея. 2013. №4. С. 12-20.

2. Казанник А.И. Экологическая полиция в системе природоохранительных органов Российской Федерации // Полицейское право. 2005. №2 (2). С. 33-36.

3. Лаптев И.П. Научные основы охраны природы. Томск, 1970. 174 с.

4. Габричидзе Б.Н., Столяренко В.М.О роли полиции в охране природной среды // Вестник Московского университета МВД России. 2011. №10. С. 33-35.

5. Лебедева А.Н., Лаврик О.Л. Природоохранное законодательство развитых стран: аналитический обзор. Новосибирск, 1992. 360 с.

6. Блудова С.В. Использование опыта зарубежных стран в обеспечении экологической безопасности милицией // Общество и экономика постсоветского пространства. 2017. С. 27-33.

7. Иваненко Т.А., Ветрова Н.М. Оценка уровня нарушенности экологического состояния при застройке прибрежных рекреационных зон //

Строительство и техногенная безопасность. 2014. №50. С. 85-93.

8. Садыкова Г.Э. Оценка экологического риска в пределах прибрежных защитных полос при градостроительном освоении морского побережья Крыма // Строительство и техногенная безопасность. 2013. №45. С. 103-107.

9. Результаты исследования качества воды в родниках Симферополя. Режим доступа: http://ekomir.crimea.ua/activity/water2003/simf/analiz_rodn.shtml.

10. Захаров Р.Ю., Волкова Н.Е. Нерациональное использование прудов бассейна реки Салгир // Экономика строительства и природопользования. 2017. № 1 (2). С. 38-43.

11. Пряжинская В.Г., Левит-Гуревич Л.К., Ярошевский Д.М. О методологической поддержке схем комплексного использования и охраны водных объектов [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.municipal-sd.ru/pdf-files/water/9.pdf.

12. Хавекес Г., Коеманс Ф., Лазаромс Р., Уихтерлинде Р. Водное самоуправление «Голландская модель управления водного хозяйства». Симферополь: Диайпи, 2010. 76 с.

13. Астахова Н. Муниципалы и экология // Самоуправление. 2012. №3. С. 39-41.

REFERENCES

1. Tyulin R.A. Administrative legal principles of environmental protection // Legal idea. 2013. No. 4. Page 12-20.

2. Kazannik A.I. Ecological police in the system of nonconsumptive bodies of the Russian Federation // the Police right. 2005. No. 2 (2). Page 33-36.

3. Laptev I. P. Scientific bases of conservation. Tomsk, 1970. 174 pages.

4. Gabrichidze B.N., Stolyarenko V.M. About a role of police in protection of the environment // the Bulletin of the Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation. 2011. No. 10. Page 33-35.

5. Lebedeva A.N., Lavrik O.L. The nature protection legislation of the developed countries: state-of-the-art review. Novosibirsk, 1992. 360 pages.

6. Bludova S.V. Use of experience of foreign countries in ensuring ecological safety with militia // Society and economy of the former Soviet Union. 2017. Page 27-33.

7. Ivanenko T.A., Vetrova N.M. Otsenk of the level of a narushennost of an ecological state when building coastal recreational zones // Construction and technogenic safety. 2014. No. 50. Page 85-93.

8. Sadykova G.E. Assessment of environmental risk within coastal protective strips at town-planning development of the sea coast of the Crimea // Construction and technogenic safety. 2013. No. 45. Page 103-107.

9. Results of a research of quality of water in the springs of Simferopol. Access mode: http://ekomir.crimea.ua/activity/water2003/simf/analiz_rodn.shtml.

10. Zakharov R.Yu., Volkova N.E. Irrational use of ponds of a river basin Salgir // Economy of construction and environmental management. 2017. No. 1 (2). Page 38-43.

11. Pryazhinskaya V.G., Levitte-Gourevitch L.C., Yaroshevsky D.M. About methodological support of schemes of complex use and protection of water objects [An electronic resource]. Access mode: http://www.municipal-sd.ru/pdf-files/water/9.pdf.

12. Havekes G., Koyemans F., Lazaroms R., Uikhterlinde R. Water self-government "The Dutch model of management of water management". Simferopol: Diayp, 2010. 76 pages.

13. Astakhova N. Municipals and ecology // Self-government. 2012. No. 3. Page 39-41.

APPROACHES TO REALIZATION OF HUMAN RIGHTS ON THE FAVORABLE ENVIRONMENT

Zakharov R.Yu. , Kovalyov A.A., Volkova N.E.

Summary: In the world community each person has the right for the favorable environment. Ensuring steady functioning of natural ecological systems, natural and natural and anthropogenic objects – one of the main functions of the state in general, bodies of legislative and executive power, municipal units, each person. However not always the realized mechanisms yield positive result. For example, in the Republic of Crimea the most part of ponds is under authority of municipalities. Special permission to their use is got only for an insignificant part of these water objects that in turn assumes responsibility of water users for a condition of these ponds. At municipalities sufficient financing for maintenance of the remained water heat-sink constructions in good ecological and technical condition is unavailable. As a result, the probability of emergencies on ponds increases, besides the sanitary and epidemiologic situation not only on them, but also in adjacent territories worsens. In world practice it is possible to allocate three main approaches to the solution of problems, characteristic of water objects of the Republic of Crimea. It: legislative legal mechanism (obtaining the corresponding permissions, rights for use of natural objects; penalties); market levers (taxes); increase in ecological education. Only the combination of these approaches is able to afford to improve the current ecological situation and to guarantee human right on the favorable environment.

Subject: approaches to realization of human rights on the favorable environment, on the example of water objects. In the Crimean region realization in practice of the operating mechanisms of management of ecological safety of water management systems not always promotes the solution of the developed problems. It in turn demands their improvement. Similar problems were characteristic also of other countries, however they have been successfully solved therefore in some cases it would be possible to make use of international experience adapted to conditions of the Republic of Crimea for improvement of the situation which has developed in the Crimean region.

Materials and methods: in this research on the example of water objects of the Republic of Crimea as to the integral component of the environment for the population of the region, it is planned to allocate the main problems leading to deterioration in their ecological state and to open as these problems are solved in other countries of the world and regions of the Russian Federation.

Results: the list of the problems leading to inefficient use of water objects and deterioration in an ecological situation on them and examples of their decision from world practice.

Conclusions: realization of a combination of three approaches is necessary at once for improvement of the current ecological situation and guaranteeing human right on the favorable environment: legislative legal mechanism (obtaining the corresponding permissions, rights for use of natural objects; penalties), market levers (taxes), increase in ecological education as they mutually cause and supplement each other.

Key words: favorable environment, water resources, legislative legal mechanism, ecological police, market levers, ecological education.

УДК 691.53

ТОКСИЧНОСТЬ СВЯЗУЮЩИХ КАК ЭЛЕМЕНТА ГОРОДСКОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

Строкова В.В., Нелюбова В.В., Рыкунова М.Д., Данакин Д.Н

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46,
[1]vvstrokova@gmail.com, [2]nelybova.vv@bstu.ru, tumashova93@mail.ru[3], danakin93@mail.ru[4]

Аннотация. В настоящее время отмечается активная урбанизация территорий. Современные строительные композиты часто содержат небезопасные для окружающей среды компоненты органической и неорганической природы. Подобные вещества могут оказывать негативное воздействие на живые системы, за счет изменения биотических взаимосвязей между организмами, биологического круговорота, снижения численности живых организмов и сокращение биоразнообразия. В статье приведены результаты исследования токсикологического эффекта вяжущих различного состава на жизнедеятельность тест-объектов, входящих в разные экологические группы. Анализ воздействия на растительные культуры произведен на основании данных фитотестирования. Исследование воздействия связующих на объекты животного происхождения осуществляли с использованием метода кратковременного тестирования. На основании полученных данных вяжущие были проранжированы по степени увеличения токсического воздействия.

Предмет исследования: оценка экологического влияния вяжущих, применяемых при проектировании композитов строительного назначения, на экосистему убанизированных территорий методами биотестирования.

Материалы и методы: В качестве объектов исследования использовались цементы ЦЕМ I 42,5Н и ЦЕМ III 32,5Н производства ЗАО «Белгородский цемент», гипс Г-5 Б–II производства ООО «Адиюх-1» (Карачаево-Черкесская Республика, Россия). Для сравнения в работе применялись бесцементные вяжущие негидратационного типа твердения – наноструктурированные вяжущие на основе кварцевого песка и гранита, и геополимеры, как на основе природного, так и на основе техногенного сырья: в качестве сырья использовались перлит Мухор-Талинского месторождения, а также зола-уноса Троицкой ГРЭС (РФ). Токсичность материалов оценивалась на основании данных об их влиянии на жизнедеятельность тест-культур путем биотестирования водных вытяжек, полученных из исследуемых материалов. При комплексном изучении токсичности материала необходимо проводить биотестирование на живых организмах, принадлежащих к различным экологическим группам, поэтому в качестве тест-объектов были выбраны представители растений – зерна овса, и животных – Daphnia Magna. Из анализированных функций были выбраны следующие показатели: интенсивность роста и жизнеспособность.

Результаты: Независимо от вида тест-объекта влияние вяжущих обусловлено выходом в раствор различных элементов (ионов кальция или тяжелых металлов). При этом в случае растительных культур насыщение раствора элементами оказывает положительное влияние (отсутствие ингибирующего эффекта), а в случае животных особей – увеличение токсического воздействия.

Выводы: Полученные фактические данные позволили проранжировать изученные вяжущие по степени увеличения их токсичности по отношению к тест-объектам растительного (овес) и животного происхождения (дафнии) в следующей последовательности: НВк→НВг→Гипс→ПЦ→ШПЦ→ГВз→ГВп.

Ключевые слова: вяжущее, биотестирование вяжущих, биокоррозия, токсичность, экосистема, урбанизация.

ВВЕДЕНИЕ

Среди глобальных проблем современного мира проблема экологии занимает особое место, так как она носит исключительно транснациональный и межгосударственный характер и охватывает все уровни существования живых организмов. Скачок развития технологий позволил человеку контролировать многие природные процессы, происходящие на Земле, обустраивать территории непригодные для жизни, тем самым разрушая естественный экосистемный баланс, основанный на законе внутреннего динамического равновесия. Интенсивность урбанизации территорий приводит к приспособлению биоты, как наиболее чуткой состовляющей урбогеосистемы, тем самым провацируя ее к ответной реакции различной длительности и интенсивности [1].

Ярким примером ответной реакции биоты на процессы модернизации городской экосистемы является микробиологическая коррозия (биокоррозия). Микроорганизмы (агенты биокоррозии) взаимососуществуют с окружающей средой путем постепенного заселения техногенных и индустриальных объектов, адаптируя их с учетом своей физиологической толерантности. Гомеостаз патогеных микроорганизмов ярко демонстрируется и напрямую зависит от условий городской экосистемы [2]. Таким образом, чем защищенней будет материал от воздействия микроорганизмов, преобладающих в той или иной среде, тем ярче

будет ответная реакция вида (мутация). Это особенно актуально в тех случиях, где метаболизм микроорганизмов прогрессирует за счет благоприятных условий, например, в области агропромышленого производства, которое сопровождается постоянным образованием большого количества отходов [3], которые являются неотъемлемой частью технологического процесса получения продукции.

Из всего вышесказанного следует, что при проектировании новых композитов строительного назначения в первую очередь необходимо создавать материал, способный сохранять естественный баланс внутри сформировавшейся биоты и гармонично существовать в рамках рассматриваемой экосистемы, а также учитывать его основные эксплуатационные характеристики. Все это ставит задачи по разработке материалов, используемых для возведения зданий и сооружений, с учетом их экобезопасности и биопозитивности.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

К настоящему времени учеными изучено влияние агентов биокоррозии на основные эксплуатационные характеристики строительных материалов различного назначения [4–9]. Значительный вклад в развитие обозначенного научного направления вносится исследователями Национального исследовательского Мордовского государственного университета имени Н.П. Огарева во главе с академиком РААСН В.Т. Ерофеевым. Работами коллектива под его руководством изучена стойкость минеральных и органических вяжущих различного состава по отношению к основным агентам микробиологической коррозии, преимущественно плесневым грибам различных родов [10–15]. Большой вклад в современное представление о защите от биоразрушений привнесли исследователи Казанского ГАСУ под руководством В.Ф. Строганова. Авторским коллективом изучены особенности взаимодействия продуктов метаболизма микромицетов с материалами строительного назначения различной природы и состава [16–19]. Предложен способ оценки коррозионной стойкости конструкций за счет моделирования агрессивной среды, формируемой продуцентами агентов коррозии [20, 21].

Стоит отметить, что биокоррозия, оказывающая деградационное воздействие на строительные конструкции, является предметом изучения не только российских, но и зарубежных ученых [22, 23]. Как и в отечественных публикациях, иностранные статьи посвящены, в основном, изучению процессов, обеспечивающих разрушение материала в результате действия микроорганизмов, а также поискам способов снижения ее негативного воздействия. Так, в работе [24] показана возможность создания поверхности, обладающей антимикробными свойствами, благодаря наличию специального материала ацикличного N-халамина. N-халамины снижают активность бактерии путем прямого окисления биомолекул внутри микроорганизма. Явление, называемое «Синдромом больного здания» описывается в работе [25]. Синдром вызывает симптомы, аналогичные респираторным заболеваниям, но обусловленные внешними факторами: плесенью, пылью, вредными летучими веществами и прочими раздражителями и аллергенами.

Однако, существует необходимость совершенствования комплексного подхода в разработке материалов с обеспеченной микробиологической стойкостью. Для формирования комфортной среды жизнедеятельности более целесообразным представляется получение оптимальных составов композитов на стадии их проетирования за счет варьирования взаимоисключающих свойств экобезопасности и биопозитивности. Достижение золотой середины между двумя этими показателями позволит получать экологически безопасные материалы строительного назначения при минимальном загрязнении окружающей среды и токсическом воздействии для оптимального функционирования системы «материал – организм – урбогеосистема». Исходя из всего вышесказанного основной целью настоящей работы является оценка токсичности вяжущих различного состава и типа твердения методами биотестирования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов исследования использовались цементы ЦЕМ I 42,5Н (далее ПЦ) и ЦЕМ III 32,5Н (далее IGW) производства ЗАО «Белгородский цемент», гипс Г-5 Б–II (далее Г) производства ООО «Адиюх-1» (Карачаево-Черкесская Республика, Россия). Для сравнения в работе применялись бесцементные вяжущие негидратационного типа твердения – наноструктурированные вяжущие на основе кварцевого песка и гранита ($НВ_к$ и $НВ_г$ соответственно), разработанные авторским коллективом БГТУ им. В.Г. Шухова [26, 27], и геополимеры как на основе природного, так и на основе техногенного сырья: в качестве сырья использовались перлит Мухор-Талинского месторождения (далее $ГВ_П$), а также зола-уноса Троицкой ГРЭС (РФ). Оценку фитотоксичности геополимеров на основе зол-уноса в настоящей работе не производили, поскольку ранее выполненными исследованиями авторского коллектива обоснована низкая токсичность геополимерных вяжущие на основе техногенного сырья – низкокальциевой золы-уноса ТЭС [30].

Токсичность материалов оценивалась на основании данных об их влиянии на жизнедеятельность тест-культур растительного и животного происхождения, путем биотестирования водных вытяжек, полученных из исследуемых

материалов. pH всех растворов определяли с помощью прибора OYSTER-10.

При комплексном изучении токсичности материала необходимо проводить биотестирование на живых организмах, принадлежащих к различным экологическим группам, поэтому в качестве тест-объектов были выбраны представители растений – зерна овса, и животных – Daphnia Magna. Из анализированных функций были выбраны следующие показатели: интенсивность роста и жизнеспособность.

В первом случае изучалась степень опасности вяжущих по методике, изложенной в работе [28], заключающейся в исследовании прорастаемости корней семян тест-культур, помещенных в водную вытяжку исследуемых материалов. В качестве модельной тест-культуры использовались семена овса, характеризующиеся стабильной всхожестью (не менее 95 %) и воспроизводимостью данных по сравнению с семенами других культур.

В соответствии с методикой исследуемые образцы были измельчены до грубодисперсного состояния, навески массой 10 г помещали в мерные колбы и заливали дистиллированной водой, отстаивали при комнатной температуре в течение трех суток. По истечению времени колбы встряхивали в течение 2 часов в лабораторном шейкере и сепарировали с помощью фильтровальной бумаги. Рабочие растворы получали при разведении полученного экстракта дистиллированной водой в соотношении 1/10; 1/100; 1/1000.

Зерна тест-культуры проращивались в чашках Петри, в качестве контрольной среды выступала дистиллированная вода. На дно каждой чашки помещали фильтровальную бумагу, на которую выкладывали по 25 семян овса равномерно по всей площади чашки. Все чашки были затворены водной вытяжкой исследуемого материала (по 5 мл), с распределением раствора по всему дну чашки. После приготовления образцы помещались в термостат на 7 суток. По истечению указанного времени был осуществлен контрольный замер длины корней зерна тест-культуры в контрольных и опытных пробах. Объектом измерения у каждого семени являлся корень максимальной длины.

Визуальная оценка исследуемых образцов проводилась независимо от расчетного способа, так как при расчетном способе учитывается лишь длина корня наиболее активного проростка овса, что не даёт полного представления о фитотоксичности исследуемого материала.

Определение фитотоксического эффекта расчетным способом проводили путем сопоставления результатов контрольных и опытных семян тест-культуры. В качестве количественной оценки фитоэффекта выступает расчетная величина $E_т$ (эффект торможения), которая определяется по формуле:

$$E_т=(L_к–L_{оп})/L_к·100\ \%, \quad (1)$$

где L_k – средняя длина корней тест-культуры в контрольном растворе (мм);

L_{on} – средняя длина корней тест-культуры в опытном (рабочем) растворе (мм).

При этом порогом фитотоксичности для живых организмов принимается 50 %.

Во втором случае исследование токсичности связующих по отношению к животным организмам осуществляли по методике кратковременного тестирования с использованием ветвистоусых рачков рода *Daphnia* по причине их наиболее высокой чувствительности к токсикантам различной природы. Из-за примитивности строения низших живых организмов у них отсутствуют дублирующие системы и механизмы, которые обеспечивают устойчивость к различным ксенобиотикам. Оценка токсикологического воздействия проводится по биологическому показанию – выживаемости особей. Биотестирование проводили кратковременным методом [29]. Он основан на определении изменений выживаемости дафний при воздействии токсических веществ, содержащихся в водной вытяжке тестируемых образцов по сравнению с контролем. В настоящей работе оценивали среднее количество тест-объектов, выживших в водных растворах исследуемых веществ за период времени 96 ч по сравнению с контролем.

Для получения водной вытяжки из образцов-балочек на основе различных вяжущих использовали дистиллированную воду (pH=6,2), которую предварительно выдерживали в течение 48 часов в открытой емкости и насыщали кислородом посредством аэратора для аквариума.

Для приготовления водной вытяжки образцы-кубики с размером ребра 2 см, были взвешены и залиты дистиллированной водой в соотношении 1/10 по массе. Образцы выдерживали при комнатной температуре в течение 10 суток, что вполне достаточно для миграции химических соединений из образцов в водную среду. После чего твердую фазу сепарировали путем фильтрации, для этого использовали фильтровальную бумагу, разбавляли в концентрациях 1/1 и 1/3, затем подвергали биотестированию.

Посадку синхронизированной культуры дафний в сосуды проводили следующим образом: с помощью стеклянной трубки отлавливали молодых (новорожденных) дафний и подсаживали в емкости с тестируемыми жидкостями и их трехкратного разбавления в количестве 6 или 10 особей в каждую емкость и экспонировали в течение 96 часов.

Рис. 1. Характер роста зерен в контрольной среде

Fig. 1. Character of grain growth in control medium

Учет выживших дафний проводили через 1, 24, 48, 72, и 96 ч. Наблюдения проходили ежечасно в начальный период проведения опыта (до 4 ч), в последующие сутки 1–2 раза в день. В ходе наблюдения вели подсчет выживших и погибших организмов, и рассчитывали процент выживших особей. Время гибели рачков отмечали по наступлению неподвижности (дафнии лежат на дне стакана, плавательные движения отсутствуют и не возобновляются при легком покачивании колбы). Дафний во время эксперимента не кормили.

Процент погибших дафний в тестируемой воде по сравнению с контролем рассчитывали по формуле:

$$A = (X_к – X_m)/X_к , (2)$$

где $X_к$ – среднее количество дафний, выживших в контроле;

X_m – среднее количество дафний, выживших в тестируемой среде.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Визуальная оценка всхожести культур показала существенное влияние состава среды, в которой произрастали зерна (рис. 1–3).

В контрольной среде тест-культура дала хорошую всхожесть (рис. 1). На поверхности зерен отсутствуют потемнения, не наблюдается загниваемости. Непроросшие зерна отсутствуют.

В чашах с чистым ПЦ зерна дали хорошую всхожесть (рис. 2, *а–г*), тем не менее, около 20 % тест-объектов имеют на поверхности потемнения, что может свидетельствовать о внутренних повреждениях зерна. Интересно отметить, что при разбавлении исходного экстракта возрастает количество непроросших зерен в чашах – от 10 % (рис. 2, *б*) до 16 % (рис. 2, *в, г*). Это может свидетельствовать о наличии определенных питательных для культуры веществ, концентрация которых в растворе снижается по мере его разбавления, что отрицательно сказывается на всхожести.

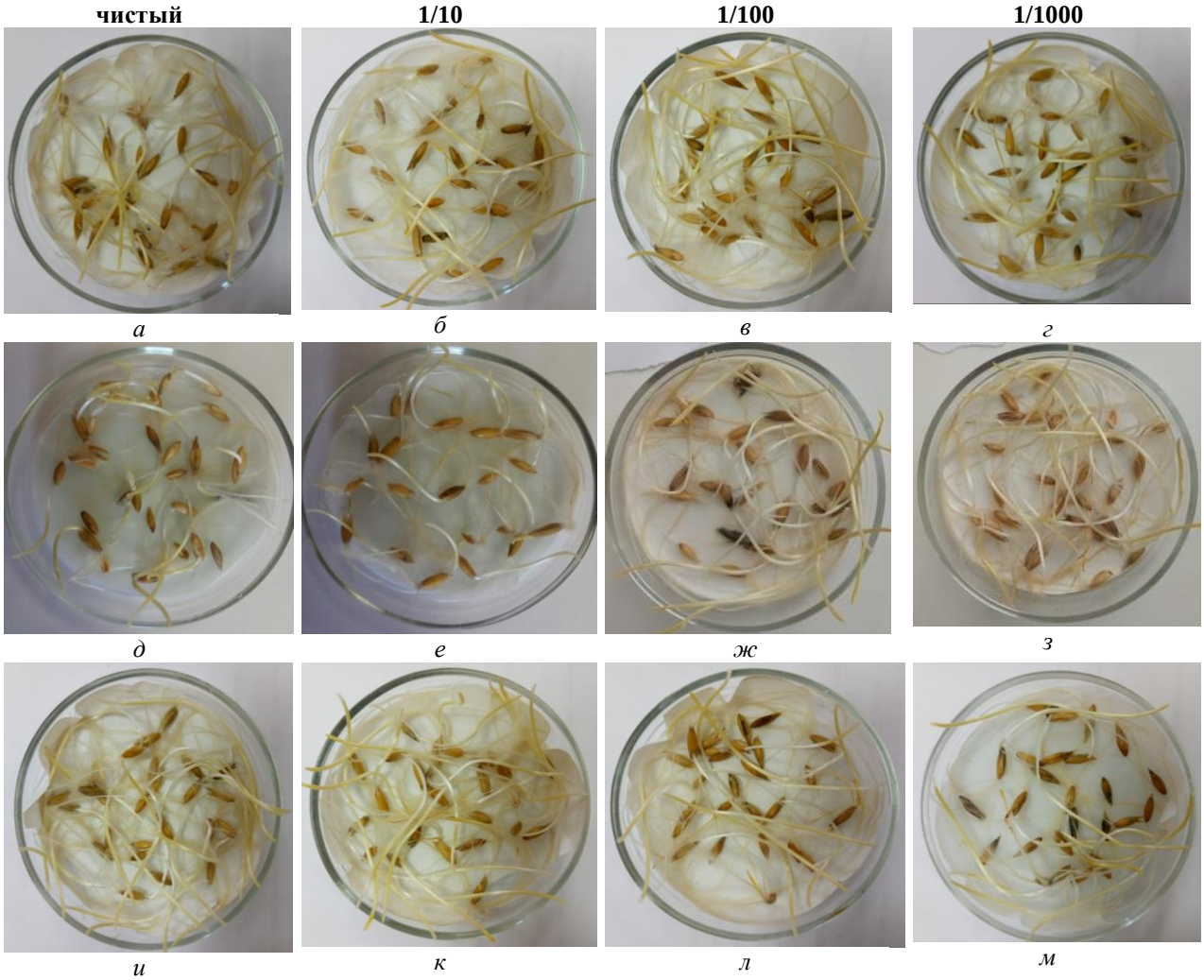


Рис. 2. Всхожесть зерен овса, прорастающих в растворах традиционных вяжущих в зависимости от степени разбавления: *а–г портландцемент; д–з шлакопортландцемент; и–м гипс.*

Fig. 2. Germination of oat grains growing in solutions of traditional binders, depending on the degree of dilution: *а–г* portland cement; *д–з* slag portland cement; *и–м* gypsum.

На основании визуальной оценки можно сделать вывод об отсутствии ярко выраженного токсического эффекта вытяжки ШПЦ на зерна овса (рис. 2, *д–з*). В чаше с неразбавленной вытяжкой данного материала (рис. 2, *д*) до 10 % зерен характеризуются отсутствием корневой системы. Присутствуют незначительные потемнения поверхности зерен без признаков плесени или загнивания.

При разбавлении исходной вытяжки ШПЦ в соотношении 1/10 (рис. 2, *е*) непроросшие зерна отсутствуют, отмечается хорошее развитие корневой системы, а также большая длина ростков зерна. Увеличение степени разбавления исходного раствора обеспечивает снижение токсического воздействия на объекты.

Гипсовый раствор обеспечивает положительный рост семян (рис. 2, *и–м*), при этом около 10 % из них имеют потемнения на поверхности. Наиболее удовлетворительным как по состоянию поверхности зерен, так и по числу ростков, является состояние тест-культуры в чаше с разбавлением гипсового раствора 1/10 (рис. 2, *к*). При дальнейшем разбавлении в соотношении 1/100, появляются непроросшие зерна, составляющие 16 % от общего числа тест-объектов, а при разбавлении 1/1000 количество таких зерен увеличивается и достигает 30 %.

В случае бесцементного связующего $НВ_К$ на основе карцевого песка непроросшие зерна при малых разбавлениях отсутствуют (рис. 3, *а, б*). Потемнения были замечены в среднем на 10 % зерен от общего числа в чашах.

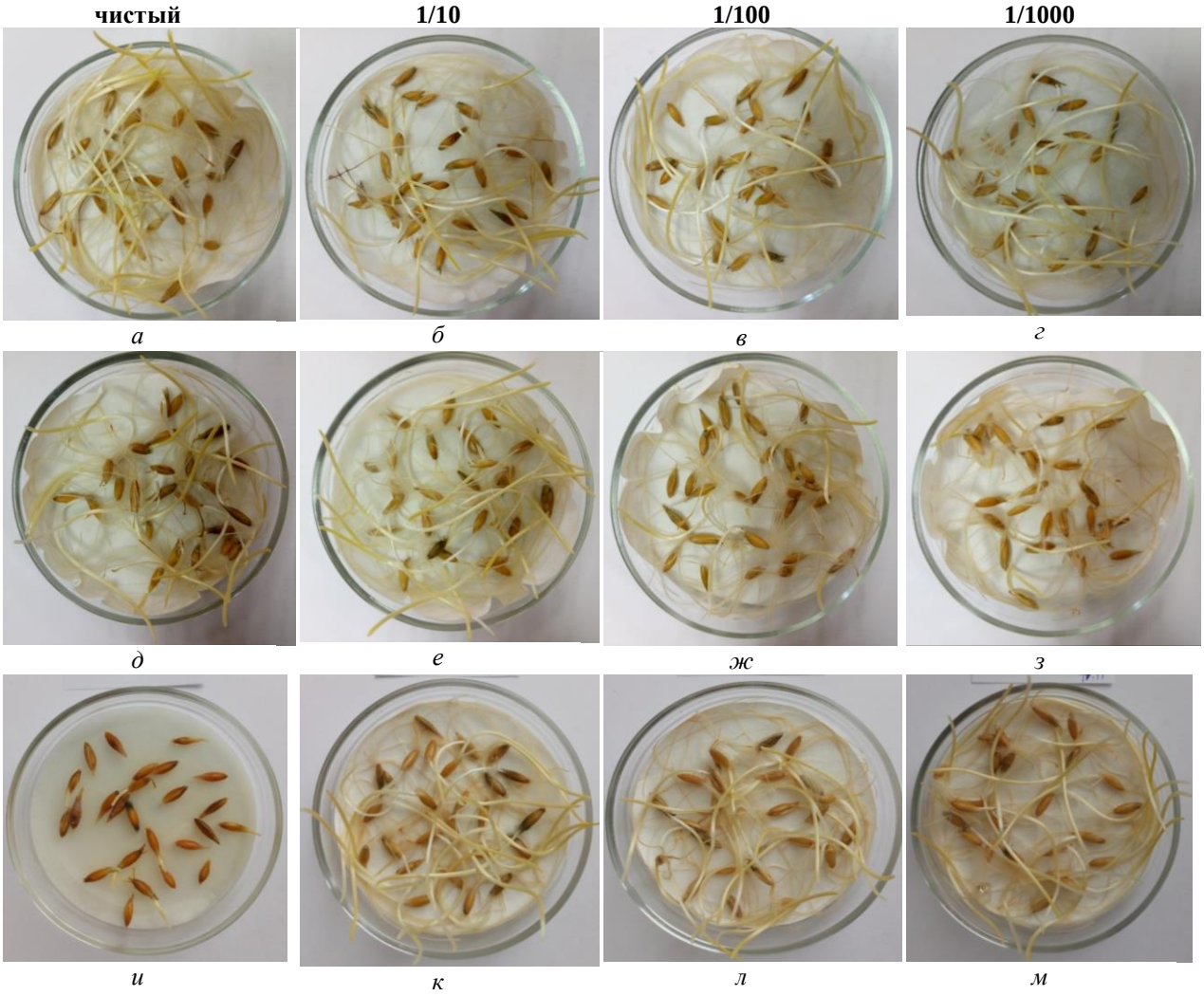


Рис. 3. Всхожесть зерен овса, прорастающих в растворах бесцементных вяжущих в зависимости от степени разбавления: *а–г наноструктурированное вяжущее из кварцевого песка; д–з наноструктурированное вяжущее из гранодиорита; и–м геополимерное вяжущее из перлита.*

Fig. 3. Germination of oat grains growing in solutions of cementless binders, depending on the degree of dilution: *а-г nanostructured binder based on quartz sand; д–з nostructured binder based on granodiorite; и–м geopolymeric binder based on perlite.*

При дальнейшем разбавлении раствора $НВ_К$ (рис. 3, в, г) было замечено около 15 % непроросших зерен. При этом состояние поверхности можно считать удовлетворительным, при объеме потемневших зерен до 10 % от общего числа.

При использовании $НВ_Г$ – наноструктурированного вяжущего, полученного из гранодиорита, количество поврежденных зерен в чаше с неразбавленной вытяжкой составляет около 30 % от общего числа тест-объектов, при этом 15 % от этого количества составляют непроросшие зерна (рисунок 3 д). При дальнейшем разбавлении состояние оболочки зерна заметно улучшается, что отражается на концентрации поврежденных тест-объектов – 15 % при разбавлении в 10 раз (рис. 3, е) и единичные случаи при большем разбавлении в чашах (рис.3, *ж, з*). При этом при разбавлении в 100 раз в чаше (рисунок 3 ж) количество зерен, не давших росток, составляет 15 %, а при разбавлении вытяжки материала в 1000 раз (рис. 3, *з*) не проросшие зерна отсутствуют при максимальной длине ростков.

Анализ состояния зерен, выращенных на вытяжке из геополимера на основе перлита – $ГВ_П$, свидетельствует о наличии реакции на токсичность выбранного вяжущего. При отсутствии разбавления исходного экстракта только 20 % зерен дают слабые ростки и лишь около 10 % из них характеризуются наличием зачатков корневой системы (рис. 3, *и*). Однако, уже на начальной ступени разбавления (рис. 3, *к*), абсолютно все зерна дают высокие показатели прорастания. Эта тенденция сохраняется при дальнейшем разбавлении. При этом общее число пораженных зерен находится в диапазоне 20–40 %, и максимально при наименьшей степени разбавления.

Значения эффектов торможения подтверждают данные, полученные в результате визуальной оценки воздействия вытяжек на прорастаемость зерен овса (табл. 1).

Таблица 1. Эффект торможения в зависимости от вида вяжущего и степени разбавления раствора

Table 1. The effect of inhibition, depending on the type of binder and the degree of dilution of the solution

Вид вяжущего	Степень разбавления	
	исходный	1/100
Портландцемент	18,05	12,4
Шлакопортландцемент	42,1	27,5
Гипс	–10,5	26,1
НВ на основе кварцевого песка	–19,1	23,2
НВ на основе гранодиорита	20,7	22,6
Геополимер на основе перлита	96,5	28,9

Максимальным значением эффекта торможения при неразбавленной системе отличается геополимерное вяжущее на основе перлита. Это связано с высоким содержанием активной щелочи, которая при формировании вытяжек из затвердевшего камня, выходит в раствор, существенно увеличивает pH системы и приводит к деградации растительного тест-объекта. Указанное подтверждается снижением токсического воздействия, выражаемого эффектом торможения, при разбавлении начального раствора.

Шлакопортландцемент характеризуется средним значением эффекта торможения, близким к значению порогового показателя в 50 %, при неразбавленном растворе, степень воздействия которого при увеличении разбавлении исходного раствора снижается. Вероятным объяснением данного факта является то, что данный вид цемента содержит в своем составе шлаки, химический состав которого отличается наличием существенного количества тяжелых металлов, выступающим канцерогенном для растительных организмов.

В случае портландцемента и НВ на основе гранита начальный раствор характеризуется невысоким эффектом торможения, значение которого меняется при увеличении разбавления растворов. Такая зависимость обусловлена входящими в состав этих материалов сырьевых компонентов, характеризующихся широким набором элементов не только питательных для растений, но и губительных, что и выражается влиянием растворов на рост овса.

Растворы гипса и НВ на основе песка характеризуются отрицательным значением эффекта торможения. Это означает, что прорастаемость зерен в таком растворе превышала аналогичные показатели для чистой дистиллированной воды. При этом при разбавлении начальных вытяжек эффект торможения увеличивается. Несмотря на схожесть поведения зерен в растворе, это объясняется разными факторами. Так, в случае гипса объяснением указанных явлений может служит следующее: экспозиция гипса в воде приводит к выходу в раствор ионов кальция как основных элементов материала. Известно, что овес является культурой, хорошо произрастающей на кислых почвах, однако, «известкование» почв значительно увеличивает его урожайность. Это и обеспечивает хорошую всхожесть зерен при их росте в модельных экстрактах. Увеличение степени разбавления раствора приводит к обеднению раствора в части снижения питательных веществ, что выражается ростом эффекта торможения.

В случае НВ на кварцевом песке воздействие основано на свойствах песка. Так, природный песок с малым модулем крупности (размер частиц до 1 мм) используется в качестве фильтрующего компонента в системах водоснабжения, бассейнах и т.д. Очевидно, что образец вяжущего, представляющий собой тонкоизмельченный песок с размерами частиц 10–100 мкм, является фильтратом для остатков посторонних примесей в воде. Разбавление исходного раствора, характеризующегося максимальной степенью очистки, приводит к снижению роста зерен.

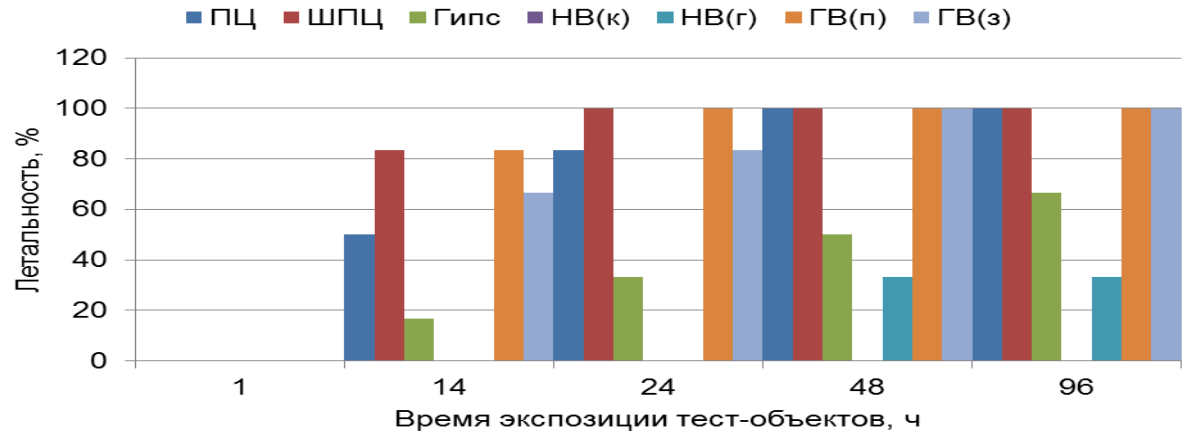
Анализ воздействия растворов вяжущих на выживаемость животных тест-объетов – ветвистоусых рачков Dafnia – подтверждает зависимости, полученные при изучении влияния вытяжек на растительные культуры (табл. 2).

Таблица 2. Выживаемость тест-объектов (дафний) в зависимости от вида вяжущего и разбавления раствора

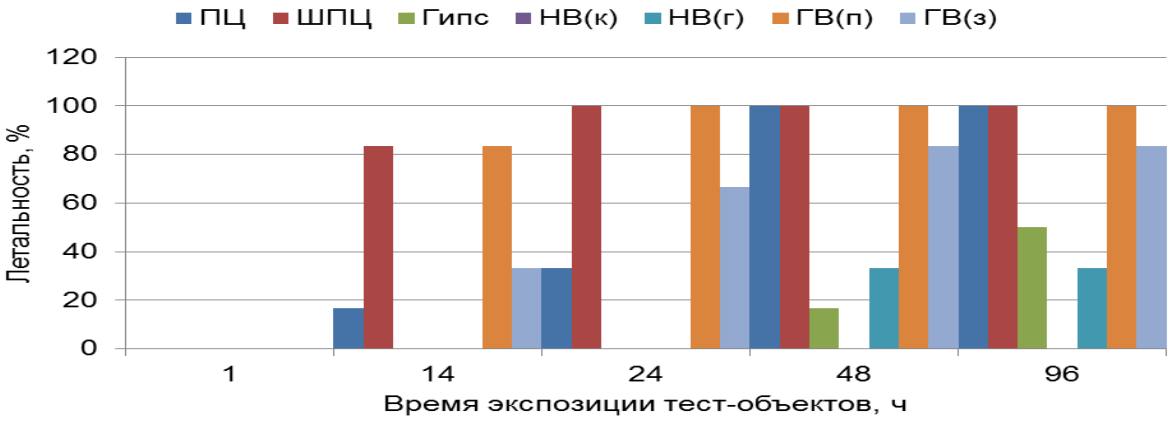
Table 2. Survival of test objects (daphnia) depending on the type of binder and dilution of the solution

Вид вяжущего	Количество особей, выживших после экспозиции в растворе (ч), шт.				
	1	14	24	48	96
Разбавление 1/1					
Портландцемент	6	3	1	–	–
Шлакопортландцемент	6	1	–	–	–
Гипс	6	5	4	3	2
НВ на основе кварцевого песка	6	6	6	6	6
НВ на основе гранодиорита	6	6	6	4	4
Геополимер на основе перлита	6	1	–	–	–
Геополимер на основе золы-уноса	6	2	1	–	–
Разбавление 1/3					
Портландцемент	6	5	4	–	–
Шлакопортландцемент	6	1	–	–	–
Гипс	6	6	6	5	3
НВ на основе кварцевого песка	6	6	6	6	6
НВ на основе гранодиорита	6	6	6	4	4
Геополимер на основе перлита	6	1	–	–	–
Геополимер на основе золы-уноса	6	4	2	1	1

Минимальным воздействием, как и в случае с растительными тестами, характеризуется наноструктурированное вяжущее на основе кварцевого песка: летальность особей в данном случае равна 0 независимо от степени разбавления начального раствора (рис. 4).



а)



б)

Рис. 4. Зависимости летальности рачков от вида вяжущего и разбавления начального раствора*: а – 1/1; б – 1/3.*

Fig. 4. Dependences of lethality of crustaceans on the type of binder and dilution of the initial solution: *a – 1/1; b – 1/3.*

Схожие показатели демонстрирует НВ на основе гранодиорита: к концу теста летальность составляет около 30 %, что в два раза меньше по сравнению, например, с гипсовым вяжущим, которое характеризуется минимальным воздействием на растительные тестируемые культуры (рис. 4, а). Разбавление раствора не меняет показатели летальности дафний в случае НВ на гранодиорите и снижает летальность до 50 % в случае гипсового раствора (рис. 4, *б*).

Цемент, шлакопортландцемент и геополимеры различного состава характеризуются высокой степенью токсичности по отношению к живым организмам: независимо от степени разбавления полная летальность тест-объектов отмечается уже на первые сутки в случае ШПЦ и геополимера на природном сырье, и на вторые – в случае ПЦ и геополимера на техногенном сырье. При этом геополимерное вяжущее из золы-уноса при увеличении степени разбавления несколько снижает влияние, тем не менее, процент летальности объектов все еще высок (около 80 %). Это связано с большей связностью щелочи в составе геополимера из техногенных компонентов, а значит, при экспозиции образца в воде в раствор выходит меньшее количество растворимых компонентов, оказывающих токсичное воздействие на тест-объекты.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в работе произведена оценка биопозитивности как традиционных, так и новых видов бесцементных вяжущих. Обоснована высокая экобезопасность наноструктурированных вяжущих, обусловленная использованием природного «чистого» сырья максимальной степени очистки без использования химических добавок-реагентов. Доказано высокое токсичное воздействие геополимерного связующего на основе природного сырья, что обусловлено низкой степенью связывания свободной щелочи, вводимой в измельченное природное сырье для придания системе вяжущих свойств, что ставит задачи по разработке способов увеличения реакционной активности алюмосиликатного сырья по отношению к щелочеактиватору для минимизации агрессивного воздействия материалов в процессе их эксплуатации. Полученные фактические данные позволили проранжировать изученные вяжущие по степени увеличения их токсичности по отношению к тест-объектам растительного и животного происхождения в следующей последовательности: $НВ_к \rightarrow НВ_г \rightarrow$ Гипс $\rightarrow$ ПЦ $\rightarrow$ ШПЦ $\rightarrow ГВ_з \rightarrow ГВ_п$. Тем не менее, все обозначенные в работе виды связующих могут быть использованы для возведения зданий и сооружений при обеспечении требуемых показателей экологической и биологической безопасности.

Работа выполнена при финансовой поддержке в форме государственного задания Минобрнауки России, проект 7.872.2017/4.6, а также в рамках реализации Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Василенко М.И., Гончарова Е.Н. Биологические методы оценки качества среды обитания. М.: Изд-во БГТУ. 2017. 116 с.

2. Василенко М.И., Гончарова Е.Н. Биологические методы в оценке качества городской среды // Управление городом: теория и практика. 2017. № 3 (26). С. 26–33.

3. Курочка П.Н., Чернов А.Е. О механизме коррозии бетона при действии органических агрессивных сред // Изд-во вузов Сев.-Кавк. регион. Техн.н. 1999. № 2. С. 13–17.

4. Semenov, S. A. Biodegradation and durability of materials under the action of microorganism / S. A. Semenov, K. Z. Gumargalieva, G. E. Zaikov. Utrecht (The Netherlands): VSP International Science Publishers. 2003. 199 p.

5. Князева В. П., Фиссер С.В. Механизмы биохимической коррозии строительных материалов в условиях городской среды // Материалы международной конференции «Долговечность и защита конструкций от коррозии». М. 1999. 21 с.

6. Власов Д. Ю., Зеленская Д.Ю., Горбушина А.А., Богомолова Е.В. Обзор методов исследования грибов, повреждающих памятники архитектуры и искусства // В сб. Трудов БиНИИ СПбГУ «Актуальные проблемы микологии». 2001. № 47. С. 88–100.

7. Свергузова С.В., Гончарова Е.Н., Юрченко В.А., Балятинская Л.Н. Микробиологическая коррозия бетона тионовыми бактериями // Изв. Высш. уч. заведений. Строительство. 1996. № 10. С. 68–71.

8. Гончарова Е.Н., Василенко М.И., Нарцев В.М. Роль микроскопических водорослей в процессах повреждения городских зданий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 6. С. 192–196.

9. Родин А.И., Карпушин С.Н., Боциев Б.В., Балатханова Э.М., Смирнов В.Ф., Ерофеев В.Т. Повышение биостойкости цементных композитов с помощью препарата «Ультрадез-био» // Фундаментальные исследования. 2014. № 9–9. С. 1946–1950.

10. Сураева Е.Н., Богатов А.Д., Казначеев С.В., Смирнов В.Ф., Ерофеев В.Т. Свойства цементно-песчаных композитов, модифицированных биоцидной добавкой // Региональная архитектура и строительство. 2012. № 1. С. 16–21.

11. Ерофеев В.Т., Сальникова А.И., Смирнов В.Ф., Каблов Е.Н., Старцев О.В., Смирнова О.Н., Захарова Е.А., Варченко Е.А. Исследование биостойкости битумных и полимербитумных

композитов и видового состава микобиоты, выделенной с материалов, экспонированных в условиях влажного морского климата и после старения в морской воде // Приволжский научный журнал. 2015. № 3 (35). С. 52–61.

12. Ерофеев В.Т., Родин А.И., Сураева Е.Н., Богатов А.Д., Казначеев С.В. Биоцидный портландцемент // Строительные материалы и технологии. 2016. №1 (63). С. 83–90.

13. Сураева Е.Н., Ерофеев В.Т., Королев Е.В. Исследование биостойких сухих строительных смесей, модифицированных нанотрубками углерода // Вестник МГСУ. 2015. №4. С. 104–114.

14. Ерофеев В.Т., Завалишин Е.В., Смирнов В.Ф., Смирнова О.Н. Повышение биологической стойкости конструкций зданий и сооружений // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2010. № 13. С. 136–143.

15. Светлов Д.А. Разработка биостоиких композиционных материалов с биоцидными добавками, содержащими гуанидин: дисс. … канд. техн. наук: 05.23.05. Саранск 2008. 217 с.

16. Строганов В.Ф., Михальчук В.М., Бобров О.Г., Бичурина Н.А. Биоповреждения эпоксиполимеров (обзор) // Пластические массы. 1985. № 11. С. 32–34.

17. Строганов В.Ф., Михальчук В.М., Бичурина Н.А. Влияние воды и водного раствора щавелевой кислоты на свойства эпоксидных композиций // Пластические массы. 1987. № 1. С. 12–14.

18. Строганов В.Ф., Куколева Д.А., Ахметшин А.С., Строганов И.В. Биоповреждение полимеров и полимерных композиционных материалов // Клеи, герметики, технологии. 2009. № 2. С. 21–25.

19. Строганов В.Ф., Сагадеев Е.В., Потапова Л.И., Куколева Д.А. Комплексное исследование процессов биоповреждения минеральных строительных материалов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2011. № 4 (18). С. 174–282.

20. Строганов В.Ф., Куколева Д.А. Методика испытаний минеральных строительных материалов на биостойкость // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2011. № 3(17). С. 150–156.

21. Строганов В.Ф., Куколева Д.А., Бараева Л.Р. Метод испытания минеральных строительных материалов на биостойкость в модельных агрессивных средах // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 17. С. 117–121.

22. Wei S., Jiang Z., Liu H., Zhou D., Sanchez-Silva M. Microbiologically induced deterioration of concrete: a review. v. 44 (4). 2013. p. 1001–1007.

23. Erich S.J.F., Mendoza V., Floor W., Hermanns S.P.M., Homan W.J., and O.C.G. Adan. Decreased bio-inhibition of building materials due to transport of biocides. v. 56 (3). 2011. p. 93–105.

24. Goddard, J. M., and Hotchkiss, J. H., J Food Prot (2008) 71 (10). 2042.

25. Haleem Khan, A.A.; Mohan Karuppayil, S. Fungal pollution of indoor environments and its management" // Saudi Journal of Biol. Sciences. v. 19 (4). 2012. p. 405–426.

26. Нелюбова В.В., Кобзев В.А., Сивальнева М.Н., Подгорный И.И., Пальшина Ю.В. Особенности наноструктурированного вяжущего в зависимости от генезиса сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 2. С. 25–28.

27. Жерновский И.В., Осадчая М.С., Череватова А.В., Строкова В.В. Алюмосиликатное наноструктурированное вяжущее на основе гранитного сырья // Строительные материалы. 2014. № 1–2. С. 38–41.

28. Русаков Н.В., Крятов И.А., Пиртахия Н.В., Тонкопий Н.И., Карцева Н.Ю., Стародубов А.Г. Методические рекомендации. МР 2.1.7.2297–07. Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности // ГУ НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина РАМН. 2007. 19 с.

29. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. ФР.1.39.2007.03222. Москва «АКВАРОС». 2007. 41 с.

30. Кожухова Н.И., Жерновский И.В., Строкова В.В. Оценка биопозитивности геополимерных вяжущих на основе низкокальциевой золы-уноса // Строительные материалы. 2012. № 9. С. 84–85.

REFERENCES

1. Vasilenko MI, Goncharova E.N. Biological methods for assessing habitat quality. Moscow: BSTU Publishing House. 2017. 116 p.

2. Vasilenko MI, Goncharova E.N. Biological methods in assessing the quality of the urban environment / / Management of the city: theory and practice. 2017. No. 3 (26). pp. 26–33.

3. Kurochka PN, Chernov AE On the mechanism of corrosion of concrete under the action of organic aggressive media / / Publishing House of the North-Caucasus. region. Tech. 1999. № 2. p. 13–17.

4. Semenov, S. A. Biodegradation and durability of materials under the action of microorganism / S. A. Semenov, K. Z. Gumargalieva, G. E. Zaikov. Utrecht (The Netherlands): VSP International Science Publishers. 2003. 199 p.

5. Knyazeva VP, Fisser S.V. Mechanisms of Biochemical Corrosion of Building Materials in Urban Conditions // Proceedings of the International Conference "Durability and Protection of Structures from Corrosion". M. 1999. 21 p.

6. Vlasov D. Yu., Zelenskaya D.Yu., Gorbushina AA, Bogomolova E.V. A survey of methods for studying fungi damaging monuments of architecture and art // In Sat. Trudov BINI SPbU "Actual problems of mycology." 2001. № 47. pp. 88–100.

7. Sverguzova SV, Goncharova EN, Yurchenko VA, Balyatinskaya L.N. Microbiological corrosion of concrete with thiobacteria // Izv. Higher education uch. institutions. Building. 1996. № 10. pp. 68–71.

8. Goncharova EN, Vasilenko MI, Nartsev V.M. The role of microscopic algae in damage to urban buildings // Vestnik Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. 2014. No. 6. pp. 192–196.

9. Rodin AI, Karpushin SN, Botsiev BV, Balatkhanova EM, Smirnov VF, Erofeev VT Increase of biostability of cement composites with the help of the preparation "Ultrades-bio" // Fundamental research. 2014. No. 9-9. pp. 1946–1950.

10. Suraeva EN, Bogatov AD, Kaznacheev SV, Smirnov V.F., Erofeev V.T. Properties of cement-sand composites modified with a biocidal additive // Regional architecture and construction. 2012. № 1. pp. 16–21.

11. Erofeev VT, Salnikova AI, Smirnov VF, Kablov EN, Startsev OV, Smirnova ON, Zakharova EA, Varchenko EA Investigation of the biostability of bituminous and polymer-bituminous composites and species composition of mycobiota isolated from materials exposed in wet marine climate and after aging in sea water // Privolzhsky Scientific Journal. 2015. № 3 (35). pp. 52–61.

12. Erofeev VT, Rodin AI, Suraeva EN, Bogatov AD, Kaznacheev SV Biocidal Portland cement // Building materials and technologies. 2016. № 1 (63). pp. 83–90.

13. Suraeva EN, Erofeev VT, Korolev EV Investigation of biostable dry construction mixtures modified with carbon nanotubes // Vestnik MGSU. 2015. № 4. pp. 104–114.

14. Erofeev VT, Zavalishin EV, Smirnov VF, Smirnova ON Increase in the biological stability of structures of buildings and structures // Bulletin of the Volga Regional Branch of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences. 2010. № 13. pp. 136–143.

15. Svetlov D.A. Development of biosteic composite materials with biocidal additives containing guanidine: diss. ... cand. tech. Sciences: 05.23.05. Saransk 2008. 217 p.

16. Stroganov VF, Mikhalchuk VM, Bobrov OG, Bichurina NA Bio-damage of epoxy polymers (review) // Plastic masses. 1985. No. 11. pp. 32–34.

17. Stroganov VF, Mikhalchuk VM, Bichurina NA Influence of water and an aqueous solution of oxalic acid on the properties of epoxy compositions // Plastic masses. 1987. № 1. pp. 12–14.

18. Stroganov VF, Kukoleva DA, Akhmetshin AS, Stroganov I.V. Bio Damage of Polymers and Polymer Composite Materials // Glues, Sealants, Technologies. 2009. № 2. pp. 21–25.

19. Stroganov VF, Sagadeev EV, Potapova LI, Kukoleva DA A comprehensive study of the processes of biodeterioration of mineral building materials // Izvestiya Kazan State Architectural and Construction University. 2011. № 4 (18). pp. 174–282.

20. Stroganov VF, Kukoleva DA A Test Method for Testing Mineral Building Materials for Biostability // Izvestiya, Kazan State Architectural and Construction University. 2011. № 3 (17). pp. 150–156.

21. Stroganov VF, Kukoleva DA, Baraeva L.R. Method of testing mineral building materials for biostability in model aggressive environments // Bulletin of Kazan Technological University. 2011. № 17. pp. 117–121.

22. Wei S., Jiang Z., Liu H., Zhou D., Sanchez-Silva M. Microbiologically induced deterioration of concrete: a review. v. 44 (4). 2013. pp. 1001–1007.

23. Erich S.J.F., Mendoza V., Floor W., Hermanns S.P. M., Homan W.J., and O.C.G. Adan. Decreased bio-inhibition of building materials due to transport of biocides. v. 56 (3). 2011. pp. 93–105.

24. Goddard, J. M., and Hotchkiss, J. H., J Food Prot (2008) 71 (10). 2042.

25. Haleem Khan, A.A .; Mohan Karuppayil, S. Fungal pollution of indoor environments and its management, "Saudi Journal of Biol. Sciences, v. 19 (4), 2012. pp. 405–426.

26. Nelyubova VV, Kobzev VA, Sivalneva MN, Podgorny II, Pal'shina Yu.V. Features of nanostructured binder depending on the genesis of raw materials // Bulletin of BSTU named after. V.G. Shukhov. 2015. № 2. pp. 25–28.

27. Zhernovsky IV, Osadchaya MS, Cherevatova AV, Strokova VV Aluminosilicate nanostructured binder based on granite raw materials // Building Materials. 2014. № 1–2. pp. 38–41.

28. Rusakov NV, Kryatov IA, Pirtakhiya NV, Tonkopiy NI, Kartseva N.Yu., Starodubov AG Guidelines. MP 2.1.7.2297-07. Substantiation of the hazard class of production and consumption wastes by phytotoxicity // Research Institute of Human Ecology and Environmental Hygiene im. A.N. Sysina of the Russian Academy of Medical Science. 2007. 19 p.

29. A methodology for determining the toxicity of water and water extracts from soils, sewage sludge, waste by mortality and the change in the fertility of daphnia. FR.1.39.2007.03222. Moscow «AKVAROS». 2007. 41 p.

30. Kozhukhova NI, Zhernovsky IV, Strokova VV Evaluation of the biopositivity of geopolymeric binders based on low-calcium ash-fly // Building Materials. 2012. № 9. pp. 84–85.

TOXICITY OF BINDERS AS AN ELEMENT OF THE URBAN ECOSYSTEMS

Strokova V.V., Nelyubova V.V., Rykunova M.D., Danakin D.N.

Summary Currently active urbanization of territories is noted. Modern building composites often contain components of the organic and inorganic nature that are dangerous for the environment. This substances can have a negative impact on living systems due to changes in biotic relationships between organisms, the biological cycle, the decline in the number of living organisms and the reduction of biodiversity. The article presents the results of a study of the toxicological effect of binders of different composition on the vital activity of test objects that belong to different ecological groups. The analysis of the effect on plant cultures was made on the basis of phytotesting data. Investigation of the effect of binders on objects of animal origin was carried out using the method of short-term testing. Based on the data obtained, binders were ranked according to the degree of increase in toxic effects.

Key words: biotesting of binders, biocorrosion, toxicity, ecosystem, urbanization.

УДК 624.131.543

ИНЖЕНЕРНО - ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА НА ПРИМЕРЕ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО КОМПЛЕКСА «НОВЫЙ КУЧУК - КОЙ»

Суббота И.Л., Якобчак О.Ю

Академия строительства и архитектуры ФГАОУ ВО «КФУ им. Вернадского»
ул. Киевская, 181, г. Симферополь, 295943
pb.zheneva@mail.ru, saturdayphoto@yandex.ru;

Аннотация. Предметом исследования являются инженерно-геофизические изыскания при реконструкции объектов культурного наследия Крымского полуострова на примере историко-культурного комплекса «Новый Кучук - Кой». В геоморфологическом плане участок изысканий находится в пределах Кучук - Койской оползневой системы, характеризующейся активной тектоникой. Исследования проводились с использованием геофизического метода ЕИЭМПЗ (естественных импульсов электромагнитного поля Земли). В результате исследований было определено, что территория, в настоящее время, имеет зоны с высокой и максимально высокой концентрацией напряжений, что свидетельствует о возможной неустойчивости пород. Для полноты оценки ситуации и определения динамики необходимо провести повторные исследования. Данные полученных исследований позволят наиболее точно оценить характер устойчивости территорий особенно в период массовой застройки Южного берега Крыма и в условии активизации оползневых процессов

Ключевые слова. Инженерно-геофизические изыскания, напряженно-деформированное состояние грунтового массива, объекты культурного наследия

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проблема проведения инженерных изысканий, обеспечивающих комплексное изучение природных и техногенных условий территорий объектов культурного наследия при их реставрации, реконструкции или консервации, а также составления прогноза взаимодействия таких объектов с окружающей средой в условиях их безопасного функционирования, является для Крымского полуострова достаточно актуальной. На сегодняшний день в Крыму насчитывается более 550 объектов культурного наследия.

Крым является геодинамически активным регионом со сложными вертикальными и горизонтальными движениями разных его частей, что создает изменчивое поле напряжений. Наиболее сложный по геодинамике и техногенной нагрузке участок территориально приурочен к району Южного берега Крыма на участке юго-западного склона Главной гряды Крымских гор от мыса Айя до горы Кастель. Объектом исследования является территория историко - культурного комплекса «Новый Кучук-Кой», расположенная на Южном берегу Крыма, в пгт. Парковое.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Обзор геофизических методов при проведении изысканий приведен в работах [1,5]. Систематические исследования на данном объекте, в настоящее время, не проводятся в связи с ограниченным доступом на территорию.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалами для исследования являются данные отчета по историко-культурному обоснованию строительства рекреационных сооружений на территории бывшей усадьбы «Новый Кучук-Кой», выполненный государственным научно-исследовательским и проектным институтом «Укрпроектрестоврация» в 2007г. Методами исследований является систематизация имеющихся данных наблюдений, а также геофизический метод естественных импульсов электромагнитного поля Земли «ЕИЭМПЗ» [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Историко-культурный комплекс «Новый Кучук-Кой» представляет собой парковую территорию (парк распланирован и засажен деревьями и кустами в начале 20-го века) со зданиями и сооружениями: бывшей дачи Жуковского и дома садовника (сооружены в 1908-1911 гг.) и бывших сооружений пансионата «Криворожский горняк» (расположенный в большинстве своем в западной части территории комплекса. Площадь историко-культурного комплекса (территория парка) составляет 4,74 га.

Территории деревни Кучук-Кой в конце XIX века принадлежали петербургскому торговцу Растеряеву и на рубеже веков были распроданы тремя частями. Ближнюю к морю, в 1901 году, приобрёл финансист и художник Яков Евгеньевич Жуковский — так появилась усадьба Новый Кучук-Кой. В Статистическом справочнике Таврической губернии. Ч.II-я. Статистический очерк, выпуск восьмой Ялтинский уезд, 1915 г. в Дерекойской волости Ялтинского уезда «Новый Кучук-Кой» записан, как безымянная дача Я. Е. Жуковского при деревне Кучук-Кой. Парковое названо в честь паркового ансамбля, расположенного в бывшем имении Якова Жуковского. Время присвоения бывшей усадьбе названия Парковое пока не установлено, известно, что на 1968 год просто посёлок уже существовал, а в 1971 году, после присоединения села Бекетово, присвоен статус пгт. Во время Великой Отечественной войны почти все скульптуры парка были разрушены. Лишь отдельные фрагменты оригиналов сохранились в Русском музее (Санкт-Петербург). По ним, а также по копиям, в 1960-е гг. скульптуры были восстановлены [2].

В геоморфологическом плане участок изысканий находится в пределах Кучук - Койской оползневой системы. Сама территория представляет собой субгоризонтальную оползневую террасу с западной стороны и восточной стороны, непосредственно, расположен V-образный овраг, глубиной до 7-8м. Кучук-Койский оползень известен, как один из самых страшных в истории Крыма. Оползневые подвижки произошли 10 февраля 1786 года, и явились доказательным моментом активной тектоники Крыма. По оценкам специалистов объем оползня составил около 50-ти миллионов кубометров [2,3,4].

На рисунке 1 представлена схема зонирования территории комплексного памятника архитектуры, искусства и садово-парковой архитектуры «Новый Кучук- Кой».

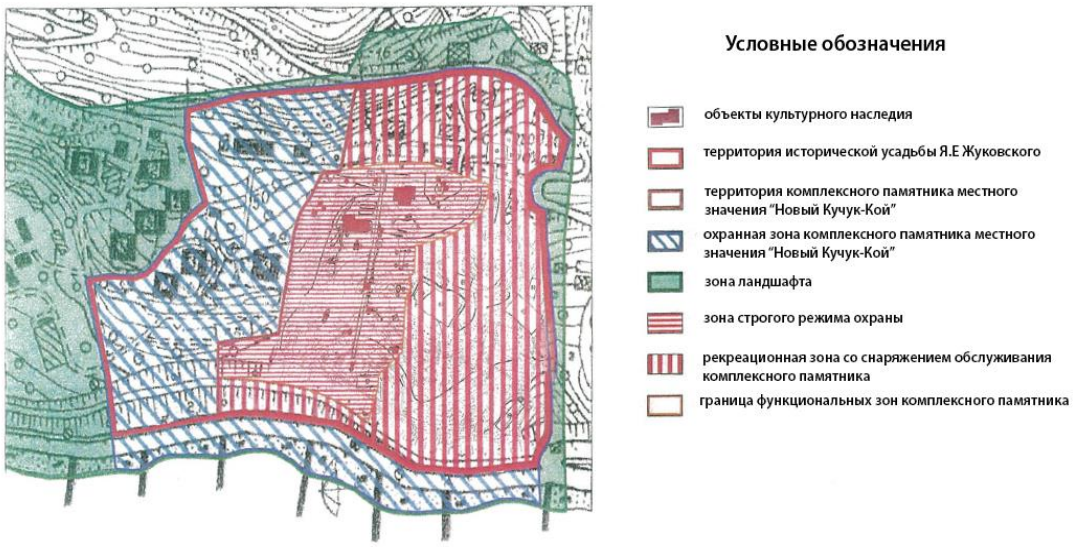


Рис.1. Схема зонирования территории комплексного памятника архитектуры, искусства и садово-парковой архитектуры «Новый Кучук-Кой».

Fig.1. The zoning scheme of the territory of the complex monument of architecture, art and landscape architecture "New Kuchuk-Koy".

В геологическом строении территории принимают участие оползневые отложения и техногенные образованиями: аргиллиты верхнего триаса – нижней юры, перекрытые оползневыми суглинистыми и дресвяными отложениями верхнечетвертичного возраста и техногенными образованиями голоцена. В геоструктурном отношении в пределах структуры I порядка – Горно-крымское складчато-надвиговое сооружение и его составной структурной части II порядка – Ялтинской антиклинали. Район изысканий по сложности инженерно-геологических условий относится к средней категории. Территория нуждается в инженерной противооползневой защите, обязательно включающей в себя мероприятия по исключению возможного замачивания грунтов под основанием, во избежание появления деформаций в конструкциях. Сейсмическая интенсивность территории (фоновая или исходная) для средних грунтовых условий в баллах шкалы MSK-64 в соответствии с картой ОСР-2015-А для 10% вероятности превышения расчётной сейсмической интенсивности в течение 50 лет и средним периодам повторения таких

интенсивностей один раз в 500 лет составляет 8 баллов [2,3,4].

Исследования проводились с использованием геофизического метода ЕИЭМПЗ (естественных импульсов электромагнитного поля Земли). Аббревиатура ЕИЭМПЗ применялась впервые А.П. Краевым в книге «Основы геоэлектрики», 1965 г. В 1976 году в Крыму профессором В.Н. Саломатиным впервые проводились исследования, совместно с сотрудниками лаборатории ЭДИП Томского политехнического института, электромагнитного излучения (ЭМИ) на оползневых участках, в юго-восточном Крыму [6].

На оползневых участках всегда имеются условия, благоприятные для возникновения электромагнитных импульсных эмиссионных процессов. Накопление напряжений в породах до критических значений и релаксация их, развитие микро- и макротрещен, явления электроадгезии, трибополяризации, дегидротации, разрушение двойных электрических слоев, фазовые переходы, трение и др. приводят к образованию различных по интенсивности импульсных электромагнитных полей. В зависимости от масштабов оползня и геологических условий его развития частотный диапозон ЭМИ может быть широким [5]. Определение величин и характера распределения напряжений на оползневых территориях достаточно актуально для оценки их устойчивости и прогноза оползневых деформаций. По данным работ [1,5] современный арсенал методов изучения напряженно-деформированного состояния пород достаточно разнообразен и условно их можно поделить на две группы:

-непосредственные измерения напряжений с помощью месдоз различных конструкций, тензометров, а также методы частичной разгрузки и измерения порового давления;

-косвенные методы – геофизические, повторной трещиной съёмки, фотоупругости.

Геофизические методы (сейсмоакустические, электроразведочные, магниторазведочные и гравиразведочные) в последнее время находят все более широкое применение для изучения напряженно- деформированного состояния массивов горных пород. Разнообразие этих методов объясняется недоступностью к прямому наблюдению многих физико-механических процессов, происходящих в земле. Поэтому метод изучения территории подбирается индивидуально, в зависимости от таких факторов, как сложность рельефа, сейсмическая активность, наличие гравитационных и тектонических процессов. Одним из наиболее универсальных методов, применяемых к использованию в различных инженерно-геологических условиях, является метод естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ). В развитие данного метода большой вклад внесли такие ученые, как А.А.Ольви, Г.Я.Черняк, В.К.Хмелевской, Д.С.Саев, Н.Н.Горяинов, В.С.Матвеев, А.А.Воробъев, В.Н.Саломатин, Л.А.Защинский [1,5,6].

По данным работ [1,5] в настоящее время для изучения напряженно-деформированного состояния массивов горных пород методом регистрации ЕИЭМПЗ применяют вариационные (режимные) наблюдения и профилирование. Вариационные наблюдения выполняются двумя и большим числом вариационных станций, одна из которых располагается в нормальном поле (вдали от индустриальных помех). Измеряемой величиной на станциях является число импульсов электромагнитного поля, превышающих порог чувствительности станций, фиксируемых в определенном интервале времени (время экспозиции). Производятся либо дискретные наблюдения, либо непрерывная регистрация электромагнитных импульсов за единицу времени («скорость счёта»). Выбор способа регистрации электромагнитных импульсов определяется, прежде всего, масштабностью и активностью изучаемого процесса. Так, наблюдение за электромагнитными предвестниками землетрясений в густонаселенных сейсмоактивных районах необходимо проводить непрерывно и длительное время. Такие же наблюдения целесообразно ставить и на активно развивающихся крупных оползнях или в зонах подготовки горных ударов, обвалов, вулканических извержений

Изучение гравитационных смещений (оползней, обвалов, селей, снежных лавин) методом регистрации ЕИЭМПЗ требует для выбора положения станции знаний об общих условиях их развития и закономерностях вариаций ЕИЭМПЗ в каждом районе. Учитывая эти закономерности, антенны размещают в наиболее сложных местах, где постоянно происходит изменение напряженного состояния и подготовка очага к геодинамическому событию. Для изучения фоновых характеристик ЕИЭМПЗ в исследуемом районе размещают так называемую опорную станцию для регистрации сигналов, не связанных непосредственно с изучаемом очагом. Перед размещением станции в зоне ожидаемого очага ЕИЭМПЗ на опорной станции проводят комплекс исследований, целью которых является выявление характерных для района и региона изменений скорости счёта: временный ход, сезонные, метрологические, а также проявление помех, от которых обычно, не удаётся избавиться полностью.

Вторым способом исследования напряженно-деформированного состояния пород является профилирование. Именно таким способом и проводились исследования. Профилирование выполнялось двумя станциями, одна из которых, неподвижная, предназначена для измерений вариаций ЕИЭМПЗ во времени, а вторая перемещается по профилю для обнаружения скорости счёта на некотором участке. Профилирование из большого количества кратковременных вариационных наблюдений, выполненных синхронно неподвижной станцией. Методически различаются одноточечное профилирование, когда в каждой точке

передвижной станции производится одно определение скорости счёта; многоточечное профилирование, в котором синхронно производятся при неподвижных станциях несколько отсчётов по подвижной, после чего она перемещается на другую точку. Профилирование позволило в течение короткого времени охватить исследованиями значительную площадь, выбрать участки будущего расположения станций для вариационных наблюдений, оценить влияние нестационарных помех при проведении исследований

Профили были заданы, по следующему принципу. Для обнаружения геологического элемента, имеющего четко выраженное простирание, их закладывали вкрест него. В случае обнаружения аномалии шаг наблюдения уменьшался с таким расчётом, чтобы выделить 5-9 аномальных точек по каждому профилю. При этом закладывалось дополнительных 2-3 профиля параллельно тому, по которому выявлена аномалия. Мерой относительного изменения скорости счёта по перекрытым участкам является отношения полуразности отсчётов измеряемой величины в соседних точках к их полусумме. При отличии этих величин в последовательно выполняемых сериях наблюдений на 25% данные наблюдений по такому профилю не учитывался

На рисунке 2,3 по данным исследований представлены карты-схемы полей напряжений на базе метода ЕИЭМПЗ в двухмерном и трехмерном изображении.

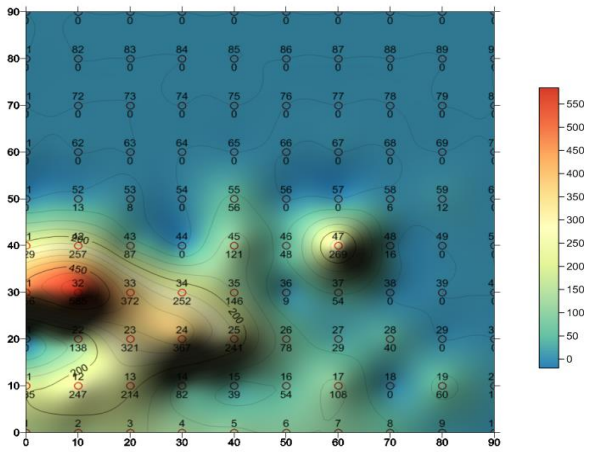


Рис.2. Карта-схема напряженно-деформированного состояния грунтового массива исследуемой территории

Fig.2. Map diagram of the stress-strain state of the soil massif of the study area

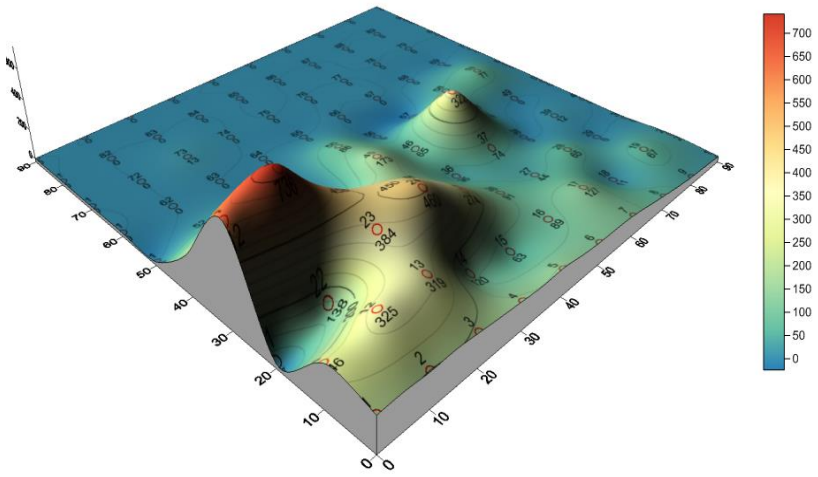


Рисунок 3.13. Карта-схема напряженно-деформированного состояния грунтового массива исследуемой территории (трехмерное изображение)

Figure 3.13. The map of the stress-strain state of the soil massif of the study area (three-dimensional image)

Метод ЕИЭМПЗ постоянно развивается, совершенствуется, расширяется круг областей его применения и, соответственно, улучшения и совершенствуется применяемая аппаратура. По данным работ [2,5] одним из первых приборов является прибор типа «РВИНДС 1-3» - радиоволновой индикатор напряженно-деформированного состояния пород, выпущенный в 1984 году во Львове. Следующий прибор «Апогей» был разработан Киевским заводом «Геофизприбор». В начале 1990-х годов в Феодосии был выпущен усовершенствованный опытный образец прибора типа «ДЭМОН» - дистанционный электромагнитный обнаружитель напряжений, затем был изготовлен усовершенствованный прибор индикаторного типа «Адонис», на базе которого были проведены исследования.

В результате исследований было определено, что территория, в настоящее время, имеет зоны с высокой и максимально высокой концентрацией напряжений, что свидетельствует о возможной неустойчивости пород. Для полноты оценки ситуации и определения динамики необходимо провести повторные исследования. Данные полученных исследований позволят наиболее точно оценить характер устойчивости территорий особенно в период массовой застройки Южного берега Крыма и в условии активизации оползневых процессов. На сегодняшний день такие исследования в Крыму проводятся преимущественно в научных целях, хотя они дают возможность определить дополнительные факторы прогнозирования поведения опасных геологических процессов. Эти данные могут снизить шансы возникновения чрезвычайных ситуаций на объекте во время его эксплуатации.

ВЫВОДЫ

1. Проведение инженерных изысканий, обеспечивающих комплексное изучение природных и техногенных условий территорий объектов культурного наследия при их реставрации, реконструкции или консервации, а также составления прогноза взаимодействия таких объектов с окружающей средой в условиях их безопасного функционирования, является для Крымского полуострова, на сегодняшний день, является очень востребованным.

2. В геоморфологическом плане участок изысканий находится в пределах Кучук - Койской оползневой системы, характеризующейся активной тектоникой.

3. Применяемый, в данной работе, метод ЕИЭМПЗ (естественных импульсов электромагнитного поля земли) позволяет выявить процессы, происходящие глубоко в толще грунтового массива и определить величины и характер распределения напряжений на оползневых территориях, что достаточно актуально для оценки их устойчивости и прогноза оползневых деформаций.

4. Исследование напряженно-деформированного состояния пород проводилось способом профилирования с использованием двух станций.

5. В результате исследований было определено, что территория, в настоящее время, имеет зоны с высокой и максимально высокой концентрацией напряжений, что свидетельствует о возможной неустойчивости пород. Для полноты оценки ситуации и определения динамики необходимо провести повторные исследования.

6. На сегодняшний день такие исследования в Крыму проводятся преимущественно в научных целях, хотя они дают возможность определить дополнительные факторы прогнозирования поведения опасных геологических процессов. Эти данные могут снизить шансы возникновения чрезвычайных ситуаций на объекте во время его эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев А.А. Равновесие и преобразование видов в недрах. – Томск: Изд-во ТГУ, 1980. – 211 с.

2. Отчет по историко-культурному обоснованию строительства рекреационных сооружений на территории бывшей усадьбы «Новый Кучук-Кой». – Киев: Укрпроектреставрация, 2007. – 30 с.

3. Ерыш И.Ф., Саломатин В.Н. Оползни Крыма. Часть 1. История отечественного оползневедения. – Симферополь: Апостроф, 1999. – 247 с.

4. Ерыш И.Ф., Саломатин В.Н. Оползни Крыма. Часть 2. Методы изучения оползней. – Симферополь: Апостроф, 1999. – 175 с.

5. Саломатин, В. Н. Методические рекомендации по изучению напряженного состояния пород методом регистрации естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) / В. Н. Саломатин, Ш. Р. Мастов, Л. А Зашинский. – М.; Симферополь: КИПКС, КОС-НИО, 1991. – 87 с.

6. Устойчивый Крым. План действий: Научные труды КИПКС. - Киев-Симферополь: СОНАТ, 1999. – 400 с.

REFERENCE

1. Sparrows A.A. Equilibrium and transformation of species in the depths. - Tomsk: TSU publishing house, 1980. - 211 p.

2. Report on the historical and cultural substantiation of the construction of recreational facilities in the territory of the former manor “New Kuchuk-Koy”. - Kiev: Ukrproektrestavratsiya, 2007. - 30 p.

3. Erysh I.F., Salomatin V.N. Landslides of the Crimea. Part 1. History of national landslide. - Simferopol: Apostrophe, 1999. - 247 p.

4. Erysh I.F., Salomatin V.N. Landslides of the Crimea. Part 2. Methods of studying landslides. - Simferopol: Apostrophe, 1999. - 175 p.

5. Salomatin, V.N. Methodical recommendations on the study of the stress state of rocks by the method of NPEFE (natural pulses of the electromagnetic field of the Earth)./ V.N. - M .; Simferopol: KIPKS, KOS-NIO, 1991. - 87 p.

6. Sustainable Crimea. Action Plan: KIPCS research papers. - Kiev-Simferopol: SONAT, 1999. - 400 p

ENGINEERING - GEOPHYSICAL SURVEYS IN THE RECONSTRUCTION OF OBJECTS OF THE CULTURAL HERITAGE OF THE CRIMEAN PENINOUS ON THE EXAMPLE OF THE HISTORICAL AND CULTURAL COMPLEX "NEW KUCHUK - KOY"

Subbota I.L., Yakobchak O.Yu.

Summary The subject of the research is engineering and geodesy surveys during the reconstruction of the Crimean Peninsula cultural heritage objects on the example of the historical and cultural complex “New Kauchuk – Koy”. In geomorphological regard, the survey site is located within the Kuchuk-Koisk landslide system, characterized by active tectonics. The studies were carried out with the help of the geophysical method NPEFE (natural pulses of the electromagnetic field of the Earth). As a result of the research, it was determined that the territory currently has zones of high and maximally high stress concentration, which indicates possible instability of the rocks. To complete the assessment of the situation and determine the dynamics, it is necessary to conduct repeated studies. The data obtained from the studies will most accurately assess the nature of the territory stability, especially during the period of mass development of the Southern Coast of Crimea and in the condition of the landslide activation processes.

Key words. Engineering-geophysical surveys, non-uniform deformation state, objects of cultural heritage

СПИСОК АВТОРОВ

Амбросова Г.Т., кандидат технических наук, профессор кафедры «Водоснабжение и водоотведение», Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Асташина М. В., кадидат технических наук, доцент кафедры «Водоснабжение и водоотведение», ФГОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Белоокая Н. В., кандидат технических наук, доцент кафедры городского строительства и хозяйства, Иркутский национальный исследовательский технический университет В.И. Вернадского, г. Симферополь

Воронова О. С., ассистент кафедры «Специализированные информационные технологии и системы», ГОУ ВПО Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка, Государственный технический университет, г.Ростов

Дарманян А.П., доктор технических наук, профессор, Волгоградский инженерно-технический университет, г. Волгоград, Донской государственный технический университет, г. Ростов

Захаров Р.Ю., кандидат технических наук, доцент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Зенцов В. Н., доктор технических наук, профессор кафедры «Водоснабжение и водоотведение», ФГОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Зуева А. А., ассистент кафедры Градостроительства, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Ковалев А.А., кандидат технических наук, доцент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Колодезникова А. П., инженер кафедры «Водоснабжение и водоотведение», Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Курочкин Л. Е., кандидат технических наук, доцент кафедры «Безопасности судоходства» ФГБОУ ВО Севастопольский государственный университет

Лапшакова И. В., кадидат технических наук, доцент кафедры «Водоснабжение и водоотведение», ФГОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Маяцкая И.А., доцент кафедры сопротивления материалов Донской государственный технический университет, г. Ростов

Минибаев А.И., ассистент кафедры «Тепловые электрические станции», ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

Мороз В.В., старший преподаватель, Брестский инженерно-технический университет, г. Брест, Беларусь

Морозов А.Д., кандидат технических наук, профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Нелюбова В.В., кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник НИИ НСМ, зам. зав. кафедрой материаловедения и технологии материалов, ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический университет (БГТУ) им. В.Г. Шухова

Подпорин С.А., кандидат технических наук, доцент зав. каф. «Безопасности судоходства» ФГБОУ ВО Севастопольский государственный университет

Попов А.Л., аспирант кафедры Материаловедения и технологии материалов, ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический университет (БГТУ) им. В.Г. Шухова

Попов В. С., аспирант кафедры инженерных коммуникаций и систем жизнеобеспечения, Иркутский национальный исследовательский технический университет

Попова Е.М., аспирантка кафедры инженерных коммуникаций и систем жизнеобеспечения, Иркутский национальный исследовательский технический университет

Сайбель А.В., ассистент кафедры строительства уникальных зданий и сооружений, Донской государственный технический университет, г. Ростов

Семенова А.П., инженер кафедры «Водоснабжение и водоотведение», Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Синцов В.П., кандидат технических наук, доцент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Синцов А.В., кандидат технических наук, доцент Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Скибо Д.В., мастер участка канализации; муниципальное унитарное предприятие «Водоканал» г. Иркутска

Строкова В.В., д.т.н., профессор, директор ИНО и ОПЦ НКМ, зав. кафедрой материаловедения и технологии материалов ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический университет (БГТУ) им. В.Г. Шухова

Суббота И.Л., кандидат технических наук, доцент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Субботкин Л.Д., кандидат технических наук, доцент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Толстой В. М. магистрант кафедры экспертизы и управления недвижимостью, Иркутский национальный исследовательский технический университет

Толстой М. Ю., кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерных коммуникаций и систем жизнеобеспечения, Иркутский национальный исследовательский технический Университет

Турко М. С., аспирант кафедры «Сопротивление материалов», Донской государственный технический университет, г. Ростов

Урецкий Е.А., член корреспондент Белорусской инженерно-технологической академии, г. Брест, Беларусь

Филимонов А. Г., кандидат технических наук, доцент кафедры «Тепловые электрические станции», ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

Филимонова А. А., кандидат медицинских наук, доцент кафедры «Химия», ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

Холопцев А.В., доктор географических наук, ведущий научный сотрудник Севастопольского отделения ФГБУ "Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова"

Чепурненко А.С.. кадидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов, Донской государственный технический университет, г. Ростов

Чичиров А. А., доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой «Химия», ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

Чичирова Н. Д., доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой «Тепловые электрические станции», директор Института теплоэнергетики ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

Шаленный В.Т., доктор технических наук, профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Шеина С.Г., доктор технических наук, профессор, заведующая кафедры городского строительства и хозяйства, Донской государственный технический университет, г. Ростов

Язьев Б.М., доктор технических наук, профессор кафедры «Сопротивление материалов», Донской государственный технический университет, г. Ростов

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 и по электронному адресу stepancova.natal@mail.ru.

Прием статей на рассмотрение и рецензирование через онлайн систему приема статей производится на сайте журнала по адресу: https://stroyjurnal-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.

Так же прием статей на рассмотрение и рецензирование можно направить по электронной почте по адресу stepancova.natal@mail.ru. Все вопросы и пожелания необходимо отправлять на этот адрес электронной почты редакции.(смотреть пункт 1.3).

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 stepancova.natal@mail.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 lisa.858@yandex.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 lisa.858@yandex.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 stepancova.natal@mail.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 stepancova.natal@mail.ru в сканированном 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 озаглавливается 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 B5 (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 озаглавливаются 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 **четырех 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.