

СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

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

№ 16(68) – 2019

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

Учредитель:

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

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

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

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

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

Главный редактор

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

Заместители главного редактора:

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

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

Редакционная коллегия:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Маилян Д.Р., 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);

Пишулина 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»;

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

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

СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 16(68) – 2019

научно-технический журнал

Печатается по решению научно-технического
совета ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
(протокол № 8 от 06.11.2019)

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 11.11.2019.

Формат 70×108/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная.

Гарнитура Times New Roman. Усл. -печ. л. 12,7.

Тираж 100 экз.

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

Издательство: ФГАОУ ВО «КФУ
им. В.И. Вернадского»
<http://cfuv.ru>, io_cfu@mail.ru
(3652) 60-84-98,

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

Отпечатано в типографии ФГАОУ ВО «КФУ
им. В.И. Вернадского»
295000, Республика Крым, г. Симферополь, бульвар
Ленина, 5/7

Распространяется по подписке.

Подписка по каталогу агентства «Роспечать».

Подписной индекс: 64974 (полугодовая).

Стоимость 1 экз. журнала 227,0 руб.

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 1. Градостроительство

- Нестерова А.Н.**
ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННОЙ ПРЕДМЕТНО-ПРОСТРАНСТВЕННОЙ
СРЕДЫ ГОРОДА 7
- Неснов Д.В.**
ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПОЛЯ В ТОРОИДАЛЬНЫХ КООРДИНАТАХ 17
- Бумага А.И.**
ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ФИЗИКО-
МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СОСТАВОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ
МАТЕРИАЛОВ 27

Раздел 2. Строительство

- Бахтина Т.А., Любомирский Н.В., Бахтин А.С., Ярошенко А.А.**
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ДОЛОМИТОВОГО ВЯЖУЩЕГО
КАРБОНАТНОГО ТВЕРДЕНИЯ 35
- Шаленный В.Т., Смирнов А., Леоненко К.**
УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА
ПЕРЕКРЫТИЙ С ПЛАСТМАССОВЫМИ ВКЛАДЫШАМИ, ЧАСТИЧНО
ЗАМЕНЯЮЩИМИ МОНОЛИТНЫЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОН 45
- Чемодуров В.Т., Маслак А.С., Кузьменко О.А.**
ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЛЕТА ВИСЯЧЕГО МОСТА 55
- Чемодуров В.Т., Ажермачев С.Г., Пиеничная-Ажермачёва К.С.**
ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВАЙНЫХ
ЗАКРЕПЛЕНИЙ МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ В УСЛОВИЯХ СЛАБЫХ
ГРУНТОВ 59
- Саргсян А.Е.**
ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ ОБОСНОВАНИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ
СООРУЖЕНИЙ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ С УЧЕТОМ ОСОБЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ
ВОЗДЕЙСТВИЙ 63

Раздел 3. Инженерное обеспечение

- Турчина Г.С.**
ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ С УЧЕТОМ
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ 73
- Аверьянова О.В.**
РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ПОТЕНЦИАЛУ
ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК, ЗАКЛЮЧЕННЫХ В ЕДИНЫЙ
КОНТУР 81
- Гамаюнова О.С.**
ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА УТЕПЛЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ
В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ 89

<i>Зайцев О.Н., Ангелюк И.П.</i> ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ РЕКУПЕРАЦИИ ТЕПЛОТЫ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ	99
<i>Козинец Г.Л., Локтионова Е.А., Мусорина Т.А., Петриченко М.Р.</i> ТЕРМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ОДНОРОДНОЙ ИЗОТРОПНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОЙ СРЕДЫ	105
<i>Трякина А.С., Гутарова М.Ю.</i> СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОГО И НАДЕЖНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ ДОНБАССА	111
<i>Толстой М.Ю., Белоокая Н.В., Туник А.А., Попова Е.М., Попов В.С.</i> ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ МОБИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСОБЫХ ПРИРОДООХРАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ	117
<i>Салиева М.Э., Салиев Э.И.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ.	129
<i>Эдимова С.Р., Салиев Э.И.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА НА КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЯХ ГОРОДА КРАСНОПЕРЕКОПСКА	135
<i>Салиев Э.И., Клинцов А.Н.</i> АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ И КАЧЕСТВО, КАК ОСНОВНОЕ СВОЙСТВО ГАРАНТИРОВАННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСЛУГ	141
<i>Менумеров Р.М.</i> ПУЛЬСАЦИЯ ОСВЕЩЕННОСТИ КАК НЕГАТИВНЫЙ ФАКТОР СВЕТОВОЙ СРЕДЫ	149
Раздел 4. Экологическая безопасность	
<i>Холопцев А.В., Подпорин С.А., Курочкин Л.Е.</i> СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ОПАСНЫХ ВЕТРОВ НА ПОБЕРЕЖЬЕ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА	153
<i>Список авторов</i>	163
<i>Руководство для авторов</i>	165

CONTENT

Section 1. Town planning

<i>A. N. Nesterova</i> CHARACTERISTIC OF THE MODERN SUBJECT-SPATIAL ENVIRONMENT OF THE CITY	7
<i>D.V. Nesnov</i> ELEMENTS OF FIELD THEORY IN TOROIDAL COORDINATES	17
<i>Bumaga A.I.</i> GEOMETRIC ALGORITHMS OF MODELING AND OPTIMIZATION OF MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES AND COMPOSITIONS OF COMPOSITE CONSTRUCTIONAL MATERIALS	27

Section 2. Construction

<i>Bakhtin T.A., Lyubomirskiy N.V., Bakhtin A.S., Yaroshenko A.A.</i> BUILDING MATERIALS BASED ON DOLOMITE BINDING CARBONATE HARDENING	35
<i>Shalenny V.T., Smirnov A., Leonenko K.</i> IMPROVED CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL SYSTEM OF CLOSES WITH PLASTIC INSERTS PARTLY REPLACE MONOILED CONCRETE	45
<i>Chemodurov V.T., Maslak A.S., Kuzmenko O.A.</i> OPTIMIZATION OF THE PARAMETERS OF THE FLIGHT OF THE HANGING BRIDGE	55
<i>Chemodurov V. T., Azhermachev S. G., Pshenichnaya-Azhermacheva X. S.</i> SUBSTANTIATION OF DESIGN SCHEMES OF PILE ANCHORAGES FOR OFFSHORE FIXED PLATFORMS ON SOFT SOILS	59
<i>Sargsyan A.E.</i> BASIC CONCEPTS OF SUBSTANTIATION OF DESIGN DECISIONS OF STRUCTURES OF NUCLEAR STATIONS, TAKING INTO ACCOUNT SPECIAL DYNAMIC INFLUENCES	63

Section 3. Engineering Support

<i>Turchina G.S.</i> RELIABILITY ASSESSMENT OF WATER DISTRIBUTION SYSTEMS TAKING INTO ACCOUNT ADDITIONAL PARAMETERS	73
<i>Averianova O.V.</i> ZONING OF THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION ON THE POTENTIAL OF USING WATER LOOP HEAT PUMP SYSTEMS	81
<i>Gamayunova O.S.</i> CHOICE OF THE OPTIMAL OPTION OF WARMING OF RESIDENTIAL HOUSES IN VARIOUS CLIMATE ZONES	89
<i>Zaitsev O. N., Angeluck I. P.</i> TECHNICAL - ECONOMIC SUBSTANTIATION OF USE OF FLUE GAS HEAT RECUPERATION SYSTEM	99

<i>Kozinets G. L., Loktionova E. A., Musorina T. A., Petrichenko M. R.</i> THERMAL RESISTANCE OF HOMOGENEOUS ISOTROPIC HEAT-CONDUCTING MEDIUM	105
<i>Tryakina A.S., Gutarova M.Yu.</i> CURRENT PROBLEMS OF SAFE AND RELIABLE WATER SUPPLY OF CITIES OF DONBAS	111
<i>Tolstoy M.Yu., Belookaya N.V., Tunik A.A., Popova E.M., Popov V.S.</i> APPLICATION RESEARCH OF THE COMPLEX MOBILE STATION FOR LIFE SUPPORT SYSTEMS IN SPECIAL ENVIRONMENTAL TERRITORIES	117
<i>Saliev M.E., Saliev E.I.</i> DEFINITION OF REPAIR OF LIFE SYSTEMS.	129
<i>Edinova S. R., Saliev E. I.</i> IMPROVING THE EFFICIENCY OF WASTEWATER TREATMENT FROM NITROGEN COMPOUNDS AT SEWAGE FACILITIES IN KRASNOPEREKOPSK	135
<i>Saliev E.I., Klintsov A.N.</i> ANALYSIS OF THE STATE OF THE WATER SYSTEM AND WATER DRAINAGE AND QUALITY AS A MAIN PROPERTY GUARANTEED SERVICES.	141
<i>Menumerov R.M.</i> PULSATION OF LIGHTING AS A NEGATIVE LIGHT ENVIRONMENT FACTOR	149
Section 4. Environmental safety	
<i>Kholoptsev A. V., Podporin S. A., Kurochkin L.Ye.</i> MODERN TRENDS OF VARIATIONS IN THE CHARACTERISTICS OF DANGEROUS WINDS ON THE COAST OF THE CRIMEAN PENINSULA	153
<i>List of authors</i>	163
<i>Authors Guide</i>	165

УДК 711.4

ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННОЙ ПРЕДМЕТНО-ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СРЕДЫ ГОРОДА

Нестерова А.Н.

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, Центральный федеральный округ, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26, *Lisa.858@yandex.ru*

Аннотация. Стремительный, слабо контролируемый, и в целом ряде случаев гипертрофированный рост городов и городских агломераций в XIX–XX столетиях сформировал условия для возникновения кризисных условий, которые нашли отображение в теории и практике архитектуры и градостроительных концепций.

Современный город представляет собой совокупность структурных элементов (подсистем), которые находятся друг с другом в сложных, часто слабо формализуемых связях: производственных и непроизводственных процессов, внешних факторов, которые формируют условия функционирования города (как системы взаимоотношений) и образуют определенную целостность.

Анализ изменений образа жизни современного общества и создание архитектурной среды, способной адаптироваться к ним, становится определяющим условием процесса формирования соответствующей среды. Для практической реализации требуется реализация системного подхода, для создания аналитической модели, ориентированной на формирование единой и целостной городской среды.

Взаимная связь городской (утилитарно–функциональной) структуры и композиции (архитектурной композиции) города позволяет объединить множественные частные элементы (функциональные, художественные, экологические, социальные факторы) в единый, органичный и целостный комплекс городской среды, как для новых городов, так и для существующей городской структуры.

Историческая среда города является значительным градостроительным фактором, а объекты культурного наследия рассматриваются, как важнейшие градообразующие элементы, находящиеся в непрерывном взаимодействии с другими функциональными зонами городской структуры.

Предмет исследования: формирование и развитие предметно–пространственной среды города

Материалы и методы: представлены основными методами научного анализа и принципами системного подхода.

Ключевые слова: город, городская структура, архитектурный ансамбль, жилая среда, производственная среда культурная среда, градостроительство, строительство, архитектура.

ВВЕДЕНИЕ

Некоторое время назад увидело свет предположение о том, что «выразительность архитектурного облика города... определяется многими факторами и прежде всего рациональностью планировочной структуры...» [1] (нашло практическое отображение в теории и практике градостроительства, включая положения современных нормативных документов) фактически устанавливает приоритетную зависимость городской структуры и подмену ею композиции города. Обратное предположение — о зависимом воздействии композиции на городскую структуру города не вышло за рамки теоретической концепции и получило практического подтверждения [1,2].

Современная градостроительная наука и практика придерживается презумпции утилитарно–функционального приоритета городской структуры над художественно–эстетическим назначением, которое обеспечивают соответствующие методы и приемы композиции города. Такой подход выражается в функциональном зонировании территории для обеспечения жизненно необходимых функций города

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ
ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Принципы функциональной и художественно–эстетической организации

Функции, обеспечивающие развитие городской структуры, одновременно формируют предпосылки и возможности для осуществления социальных факторов; устойчивой, безопасной и здоровой жизнедеятельности, деловых и производственных отношений в рамках динамичного, здорового и удобного города [3,4,5,6]:

– признак *живого (активного)* города — наличие значительного числа активных жителей города, осуществляющих самостоятельное перемещение, без привлечения транспортных средств (в специально организованных пешеходных зонах, на велосипедных тротуарах) в местах проживания, производственной и досуговой деятельности, которые отдают предпочтение проведению свободного времени на градостроительных объектах культурного, исторического спортивного, общественного назначения;

– признак *безопасного* города — присутствие значительного числа жителей города различного

возраста и физиологических возможностей (детей, взрослых, пожилых, инвалидов) на территории различных функциональных зон городской структуры в различное время суток;

– признак *устойчивого* города — преобладание числа жителей города, предпочитающих самостоятельное передвижение (в пешеходных зонах, на велосипедных тротуарах) общественному транспорту, наличие удобных и практичных транспортных зон (узлов, центров), в которых возможна пересадка на доступные и экологические виды, общественного транспорта, отсутствие индивидуального (автомобильного) транспорта в общественных и жилых зонах;

– признак *здорового* города — наличие значительного числа жителей города, которые предпочитают проведение свободного времени в самостоятельных передвижениях (прогулках, в пешеходных зонах, на велосипедных тротуарах), для занятий спортом, семейного общения и участия в общественных (городских) мероприятиях на доступных, открытых пространствах.

Во всех отмеченных признаках рассматривается приоритет человеческого фактора, как основная характеристика развития художественной, эстетической, общественной составляющей городской среды, а самостоятельное (пешеходное, велосипедное) движение — это не просто способ

перемещения (или необязательной деятельности), но источник ценных культурных, социальных и рекреационных возможностей, доступных за счет эстетического и физиологического восприятия, получения визуальной информации и эмоций, осуществления общественных контактов (пассивное созерцание и активное взаимодействие — диалог) [7,8,6,9,17].

Градостроительная (архитектурно – планировочная) структура является универсальной платформой для разработки теоретической концепции городской среды для любого типа и разновидности современного и перспективного расселения (Рис.1), но для конкретных природно–климатических, ландшафтных, культурно–исторических, экономических и социальных условий трансформируется в категорию архитектурной композиции города — единой и целостной системы, характеризующейся особым способом взаимодействия основных элементов (подсистем): утилитарно–функциональной структуры и архитектурно–художественной системы планировки и застройки территории расселения.

Предметом архитектурной композиции является общность функциональной, экономической, архитектурно–художественной, эстетической, экологической, социальной организации объектов, процессов и явлений городской структуры.

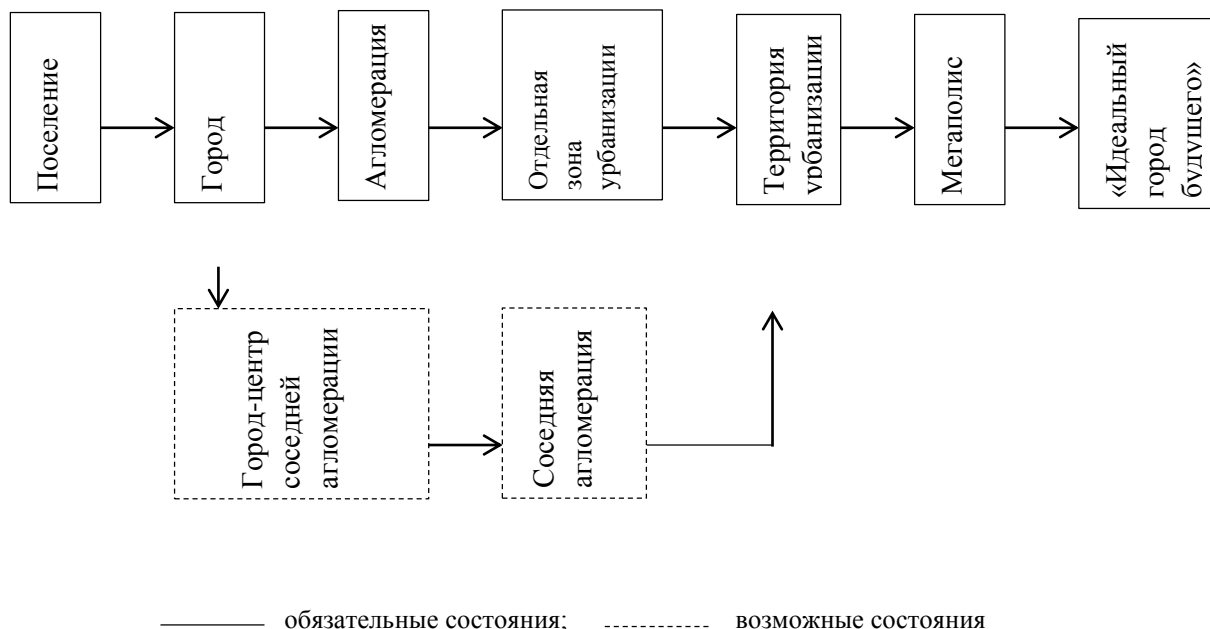


Рис. 1 – Иерархия развития городских систем

Fig. 1 - Hierarchy of development of urban systems

Очевидная и естественная взаимная связь городской (утилитарно–функциональной) структуры и композиции (архитектурной композиции) города позволяет (с позиций современного системно–структурного анализа)

объединить множественные частные элементы (функциональные, художественные, экологические, социальные факторы) в единый, органичный и целостный комплекс городской среды. Формирование рассматриваемого средового

единства определяется качеством адаптации соответствующей архитектурно–планировочной концепции к культурному коду и историческим традициям рассматриваемого расселения [2,10,11,12,13,14,17].

2. Композиция города, как система архитектурных ансамблей

Композиционная значимость элементов городской среды характеризуется силой их эмоционального и эстетического воздействия на население города. Восприятие архитектурного облика города (городской структуры) осуществляется посредством таких характеристик, как силуэт, панорама, внутригородская перспектива застройки соответствующих функциональных зон.

Масштабная и композиционная связь между различными объектами городской структуры позволяет сформировать «систему архитектурных ансамблей» города в качестве художественно–эстетической основы его архитектурно–пространственной композиции [2,9].

Градостроительные и архитектурные ансамбли, как объекты культурного наследия и носители мемориальной функции в наибольшей степени соответствуют некоторому утилитарному назначению (первоначальной функции) и реализуют идейно–художественный замысел при помощи соответствующей пространственной композиции, гармонии, соразмерности и согласованности составных элементов единого целого: архитектурных образов зданий, инженерных и технологических сооружений, рекреационных и ландшафтных территорий [2,7,15,16,17].

Современный системно–структурный анализ градостроительного ансамбля характеризуется изучением состава и функционального назначения системы архитектурных ансамблей, взаимодействующих между собой и объектами функциональных зон городской структуры посредством системы композиционных связей, которые объединяют многочисленные и разнообразные архитектурные образы, предметы и элементы (объекты исследований) в органическую, целостную структуру — композицию города.

Архитектурный ансамбль характеризуется функциональным и художественно–эстетическим влиянием на окружающую среду и за пределами расположения своих физических границ застройки — он способен быть общественным центром и опорным узлом и ориентиром в динамичной и жизни современной городской системы.

Система архитектурных ансамблей (с учетом природно–климатических и ландшафтных особенностей) формирует систему (структурную подсистему физических и визуальных связей) утилитарных градостроительных объектов и комплексов (площадей, эспланад, элементов улично–дорожной сети), предназначенных для транспортных и пешеходных передвижений и общественных коммуникаций.

Исторические здания и ансамбли, представляют собой самую большую культурную и художественно–эстетическую ценность городской структуры. Достаточно часто исторические и мемориальные комплексы формируют главные композиционные оси городской (архитектурной) планировки и одновременно являются (признаются) культурными ценностями мирового значения.

Формирование архитектурной композиции города осуществляется с определением конкретных приоритетов, индивидуальных особенностей градостроительной ситуации, поставленной градостроительной задачи: формирование нового расселения (города), реконструкции существующей городской структуры, образования городского центра групп расселения (городской агломерации).

2.1 Композиция городской структуры нового расселения

Решение проблем развития больших городов, рационального размещения производительных сил, трансформации сельских районов и координации сложных технических и эксплуатационных взаимосвязей современного расселения является актуальной задачей современной градостроительной науки.

Стремление к последовательной и планомерной реализации градостроительных композиционных решений сопровождается необходимостью учета современного состояния городов и экономических возможностей общества.

В градостроительных решениях новых городов применяются все более разнообразные решения, среди которых находят свое место как попытки совершенно нового подхода к разработке градостроительных элементов, так и варианты исторических решений [8,18,19].

В природно–климатических и ландшафтных особенностях территории нового расселения (города) содержатся значительные потенциальные возможности для последующих композиционных приемов и способов планировки городской структуры. Перенос результатов градостроительной деятельности в естественную природную среду означает формирование композиционных связей между природными факторами, архитектурными ансамблями, функциональными зонами, объектами и средствами транспортной системы [14,20,21,22].

Ландшафтные особенности и культурно–исторический горизонт местности являются решающими факторами для создания выразительного и неповторимого архитектурного образа нового города. Размещение главных высотных объектов архитектурных ансамблей — доминант на соответствующих высотных участках застройки способствует организации композиционного построения ясной и логичной системы визуальной ориентации в городской структуре.

Оптимальный подход в композиционных построениях городской структуры нового расселения состоит (независимо от планируемых

размеров города) в комплексной и планомерной организации, которая предоставляет возможности для обеспечения условий для производительного труда, удобного и безопасного образа жизни в настоящем времени, но и оставляет возможности для последующего территориального развития и реконструкции сформированной застройки — в будущем времени.

2.2 Композиция развития существующей городской структуры

Значительное большинство городов представляют собой совокупность материальных и духовных (культурных, исторических, художественных, эстетических, мемориальных) ценностей, создававшихся в течение долгих десятилетий. В условиях сложившейся градостроительной ситуации развитие архитектурной композиции рассматривается, прежде всего, с позиций культуры преемственности традиций и сохранении и развитии связей между прошлым, настоящим и будущим города [8].

Любой способ вмешательства в сложившийся градостроительный ансамбль города требует системного анализа возможных последствий, затрат значительных средств и времени на его реализацию.

Основным инструментом для решения задачи представляется методика архитектурного проектирования соответствующей предметно-пространственной среды с применением основных принципов художественного формообразования и средств гармонизации объемно-пространственной композиции с визуальным и эмоциональным форматом соответствующей коммуникативной среды.

В процессе поиска и композиционного решения реконструкции участков городской среды является вполне уместным и допустимым дополнение традиционных носителей композиционных связей (элементов природно-ландшафтной среды) новыми визуальными, пешеходными связями, приёмами изменения городского пространства.

Отсутствие (или недостаточное количество) новых композиционных связей в устоявшейся градостроительной ситуации приводит к дезорганизации городской структуры и потере композиционной целостности градостроительного ансамбля. На перспективы и характер изменений (реконструкции) существующей городской среды оказывают все более возрастающее влияние пространственное архитектурное построение (связанное с развитием системы архитектурных ансамблей), наполненное новым, актуальным содержанием, соразмеряемым с масштабом городской среды и масштабом человека — жителя и участника процесса динамичного развития города.

3. Характеристика основных элементов городской предметно-пространственной среды

Урбанизация населенных пунктов и селитебных территорий является наиболее заметным

историческим процессом, сопровождающим генезис представлений об архитектурном образе города новейшего времени (период с 1990 года и до наших дней).

Принцип формирования художественно-эстетической целостности и выразительности облика городской среды реализуется соответствующими композиционными и планировочными решениями, ориентированными на решение следующих основных задач:

- отображение и выражение функционального содержания предметно-пространственной среды города;
- достижение гармонической упорядоченности градостроительной (планировочной) структуры;
- достижение целостности и завершенности городской среды;
- формирование единства функционального, технического и художественно-эстетического содержания города.

Современный город (как особая материально-пространственная среда) функционирует в формате единого социально-производственного комплекса, социально и производственно структуры (подсистемы) вместе с инженерным, транспортным, ландшафтно-экологическим каркасами составляет единый объект градостроительного проектирования.

Теория и практика планирования, застройки и развития городов (в рамках отрасли архитектурного научного знания «градостроительство» или «урбанистика») ориентирована на анализ методов решения комплекса задач по формированию адекватной предметно-пространственной среды, связанных с культурными, социальными, функциональными, санитарно-гигиеническими, технико-экономическими, архитектурно-композиционными факторами [7,12,32].

Функциональная организация городской среды предполагает формирование связей и взаимодействие между его основными структурными элементами (средового пространства), ориентированных на обеспечение проживания, трудовой и творческой деятельности, отдыха, досуга и других видов общественной жизнедеятельности жителей города.

3.1 Жилая (селитебная) среда

Жилая (селитебная) среда, как структурный элемент городской среды характеризуется составом и размещением жилых зон на доступной для застройки территории.

Жилые зоны характеризуются, как социально значимые системные элементы функционального (территориального) зонирования городской структуры.

Жилая среда селитебных зон городской структуры представляется объектами, интегрированными в состав иерархически

упорядоченной, многоуровневой системы: «жилая ячейка (квартира) → многоквартирный жилой дом → квартал (ансамбль, массив) жилых домов → жилой микрорайон → жилой район». Высшим уровнем рассматриваемой системы (жилой среды) является городская среда, которая объединяет в своей структуре материальные, функциональные, социальные и художественно-эстетические признаки.

Жилой район представляет собой законченный архитектурно-планировочный структурный элемент застройки соответствующей функциональной (жилой) зоны города. Предметно-пространственное содержание жилой (селитебной) среды включает [2,23,24,25]:

- собственно жилую застройку (жилая площадь в многоквартирных домах различной этажности, со всеми коммунальными удобствами);
- объекты общественной среды (учреждения культурно-бытового обслуживания, открытые общественные пространства);
- элементы транспортной и пешеходной системы города, ориентированных на обеспечение связей между структурными элементами жилого района, соседних жилых районов и другими функциональными зонами, и центрами городской структуры.

Основной функцией жилых районов остаётся обеспечение жителей города максимально возможными удобствами, условиями для активного, здорового и безопасного проживания и создание выразительного архитектурного образа территории застройки.

Объектом архитектурного творчества становится иерархическая объемно-пространственная система, образованная при помощи взаимосвязанных пространственных и пластических элементов. Состав этих элементов (архитектурных объемов и открытых общественных пространств) формирует масштаб и пластику функциональных форм, предметное наполнение среды, которое характеризует композиционное значение жилого района в городской структуре. Местные природно-климатические и ландшафтные особенности открытых и свободных для застройки пространств играют приоритетное значение для архитектурно-планировочной организации территории жилых районов.

3.2 Производственная среда

Производственная среда города является структурным элементом единой городской среды и является основным источником для формирования материальных ценностей посредством организации разнообразных производственных зон.

Производственная среда города является структурным элементом единой городской среды и является основным источником для формирования материальных ценностей посредством организации разнообразных производственных зон, а также зон инженерной и транспортной инфраструктуры.

Производственная среда может включать несколько производственных зон, расположенных в одной или нескольких (в том числе и удаленных на значительные расстояния) частях (районах) городской структуры, с обязательным учетом следующих основных групп требований по составу и размещению [1,17,26]:

– народнохозяйственные требования — определяют экономическую целесообразность формирования соответствующего территориально-планировочного комплекса на базе возможностей города для регионального развития производственных сил и прогрессивных отраслей промышленности;

– производственно-технологические требования: — определяют возможности для рациональной организации собственно производственных процессов, наличие инженерных сетей и возможностей местной строительной индустрии и объектов транспортной инфраструктуры;

– градостроительные требования: — определяют виды, количество и места размещения производственных зон и объектов производственной инфраструктуры в составе конкретной городской структуры из условий возможностей и удобства расселения трудоспособного населения, санитарно-гигиенических, экологических требований, использования выразительных возможностей промышленной архитектуры, как ресурса для соответствующих композиционных решений и формирования градостроительных ансамблей.

Производственная среда городской структуры представляется объектами, интегрированными в состав иерархически упорядоченной, многоуровневой системы: «площадка промышленного (производственного) предприятия → производственный узел → городской производственный район → производственная зона города → производственный комплекс городской агломерации».

Состояние большинства городских производственных зон и районов во-многом характеризуется тенденциями общественного и производственного развития доиндустриального и индустриального периодов, а также процессами, формирующими глобальное современное постиндустриальное пространство. Экстенсивный характер индустриализации и урбанизации городов привел к появлению следующих градостроительных факторов: высокого уровня концентрации тяжелой (характеризуемой низким уровнем экологической безопасности среды) промышленности; неупорядоченной взаимосвязи селитебных и производственных зон в структуре городской среды, значительных по объему и интенсивности грузовых потоков, использующих внутреннюю городскую транспортную систему; наличие значительной площади производственных

территорий, сдерживающих развитие городской среды [22,26,].

Значительная доля производственных зон в полифункциональном балансе территории городской структуры явным образом указывает на обязательность включения производственной среды в состав композиционных и архитектурно-планировочных решений (по организации пространства и связей с другими функциональными зонами) единой и целостной городской среды.

Промышленные узлы и зоны, входящие в состав городской структуры, возможно рассматривать, как центры тяготения и градостроительные элементы особой композиционной значимости (композиционные центры и доминанты), взаимосвязанные между собой и другими функциональными зонами (прежде всего, жилой средой) соответствующими пространственными и коммуникационными связями (открытые пространства, магистральные улицы и дороги).

3.3 Культурная среда

Культурная среда может быть представлена в формате динамичной, эргатической системы, которая развивается посредством взаимодействия различных субъектов и воздействия на различные объекты, способна генерировать и актуализировать процессы и явления, изменяющие способы, масштабы и скорость воздействий и взаимодействия. Структура культурной среды включает следующие основные компоненты [11,27,28]:

- физический уровень — материальные ценности предметно-пространственной среды, формирующей соответствующее жизненное пространство;

- духовный уровень — нематериальные ценности, которые формируются посредством отношения и воздействия на различные предметы отдельными личностями или общественными;

- социокультурный уровень — нематериальные ценности, которые формируются посредством взаимодействия различных социальных слоев и культурных групп населения.

В зависимости от социокультурной функции расселения различаются городская и сельская культурная среда. Исследование особенностей формирования и развития города (как способа эффективного разделения общественного труда) является неполным без соответствующего анализа культурной среды — составного элемента единого и целостного городского пространства.

Основной особенностью современной городской культурной среды (в составе единой культурной среды государства) является факт ее формирования на основе традиционной культуры сельских расселений и сельских жителей, а инновационный характер развития городской культуры оказывает безусловное влияние на трансформацию культурной среды сельских расселений и агломераций [11,27].

Процесс формирования и развития предметно-пространственной среды города (как результат соответствующих архитектурно-планировочных и композиционных решений) характеризуется сложным и неоднозначным взаимодействием с остальными структурными элементами культурной среды на каждом из исторических этапов (доиндустриальный, индустриальный, постиндустриальный периоды).

Историческая среда города (памятники культуры, традиции и историческая память, выраженная в формате материальных и художественно-эстетических символов) является значительным градостроительным фактором, а объекты культурного наследия (предметно-пространственной структуры культурной среды) рассматриваются, как важнейшие градообразующие элементы, находящиеся в непрерывном взаимодействии с их историческим окружением и другими функциональными зонами городской структуры.

ВЫВОДЫ

Формирование условий для целостности, гармоничности и визуальной выразительности современной жилой среды является сложной архитектурно-планировочной задачей. В целом ряде случаев для ее решения являются бесперспективными композиционные принципы построения традиционного архитектурного ансамбля (жилой комплекс массовых, типовых серий не характеризуется наличием главных и второстепенных элементов — формальной основы для композиции классического ансамбля), а выражение художественных особенностей жилой среды достигается применением композиционных связей с окружающими объектами предметно-пространственной среды (открытыми общественными пространствами, пешеходными и транспортными системами, объектами соседних функциональных зон).

Динамика городской производственной и общественной жизнедеятельности имеет прямое влияние на интенсивность развития культурных процессов и скорость трансформации культурной среды соответствующей урбанизированной территории. Именно в городах (как центрах состояния и развития культурной среды) отмечаются наиболее значительные изменения в социокультурной жизни единого культурного пространства региона (городской агломерации).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабуров В.В., Гольденберг П.И., Залеская Л.С. и другие. Планировка и застройка городов. — М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре. 1956. — 346 с.
2. Бархин М. Г. Город. Структура и композиция. — М.: Наука. 1986. — 262 с. Ссылка
3. Masdar City. [электронный ресурс]. — <http://masdar.ae/en/masdar-city/live-work-play> (дата обращения: 25.09.2019).
4. The Sino-Singapore Tianjin Eco-city. [электронный ресурс]. — <http://www.tianjinecocity.gov.sg/index.htm> (дата обращения: 25.09.2019).
5. Вучик В. Р. Транспорт в городах, удобных для жизни. — М.: Издательство Территория будущего. 2011. — 576 с.
6. Gehl Jan, Gemzøe L, Kirknæs S. New City Life. — Copenhagen: Danish Architectural Press. 2006. — 188 p.
7. Зворыкин Н.П., Максимов П.Н., Михайловский Е.В. Памятники архитектуры и современная городская застройка. — М.: Издательство литературы по строительству. 1973. — 153 с.
8. Беккер А. Ю., Щенков А. С. Современная городская среда и архитектурное наследие. — М.: Стройиздат. 1986. — 212 с.
9. Яргина З. Н. Эстетика города. — М.: Стройиздат. 1991. — 365 с.
10. Иконников А.В., Степанов А. В. Основы архитектурной композиции. — М.: Искусство. 1971. — 222 с.
11. Глазычев В.Л., Гольц В.А., Карпов С.П. и другие. Город, как социокультурное явление исторического процесса. — М: Наука. 1995. — 351 с.
12. Витюк, Е.Ю. Синергетический подход к изучению города. / Е.Ю.Витюк // Приволжский научный журнал. — 2009. — №1. — С. 116–121.
13. Неумолотов О.Б. Системный подход при решении задач в области капитального строительства. — Воронеж: ВГТУ. 2002. — 332 с.
14. Попов Г.А. Системный анализ и проблемы развития городов. — М.: Наука. 1983 — 512 с.
15. Мастера советской архитектуры об архитектуре. В 2-х томах. Под общей редакцией Бархина М.Г. Том I. — М.: Искусство. 1975. — 654 с.
16. Лебедев В.Т. Заметки о пространственной и эстетической сущности архитектуры. — М.: Стройиздат. 1993. — 256 с.
17. Нестерова А.Н., Градоэкологическое обеспечение создания и функционирования мемориальных комплексов при реконструкции городской застройки: дис. ...канд. техн. наук: 05.23.22/ Нестерова Алиса Николаевна. - Ростов-н/Д, 2019. – 196 с.
18. Иконников А. В. Архитектурный ансамбль. — М.: Знание. 1979. — 306 с.
19. Зайцев А.К. Мемориальные ансамбли в городах-героях. — М.: Стройиздат. 1985. — 208 с.
20. Иодо И.А., Потаев Г.А. Градостроительство и территориальная планировка. — М: Феникс. 2008. — 266 с.
21. Лаппо Г.М. География городов. — М.: ВЛАДОС. 1997. — 478 с.
22. Голубев Г.Е. Градостроительные основы архитектурно-пространственной организации транспортных сооружений: диссертация на соискание учёной степени доктора архитектуры: 18.00.02 / Григорий Евгеньевич Голубев. — М.: 1982. — 282 с.
23. СП 42.13330.2011. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89*. — М.: Минрегион России. 2010. — 114 с.
24. Высоковский А.А. Средовая интерпретация пространственной организации города // В сборнике материалов Всесоюзной научной конференции ВНИИ-ТАГ и СА СССР Современные проблемы формирования городской среды. Ч. 1. — М.: 1989. С.124–137.
25. Петрова Л. В. Архитектурно-планировочные приемы совершенствования жилой среды в многоэтажных домах: диссертация на соискание учёной степени кандидата архитектуры: 18.00.02 / Петрова Лариса Владимировна. — М.: 1994. — 177 с.
26. Бурак П.И., Мазанова М.Б., Ростанец В.Г., Морозов Ю.А. Производственные зоны крупных городов России: механизмы регулирования развития. — М.: Альфа-Доминанта. 2003. — 406 с.
27. Волков Г. Н. Три лика культуры. — М.: Молодая гвардия. 1986. — 335 с.
28. Малиновский Б.К. Научная теория культуры. — М.: Объединённое гуманитарное издательство. 2005. — 184 с.
29. Салмин Л.Ю. Моделирование средовой ситуации и городской дизайн: диссертация на соискание учёной степени кандидата искусствоведения: 17.00.06 /. Салмин Леонид Юрьевич — М.: 1988. — 184 с.
30. Черкасова Ю. В. Архитектурный образ города в культурно-историческом контексте: диссертация на соискание учёной степени кандидата культурологии: 24.00.01 /. Черкасова Юлия Владимировна — Комсомольск-на-Амуре: 2012. — 154 с.
31. Хасиева С.А. Архитектура городской среды. — М.: Стройиздат. — 2001. — 200 с.
32. Соколова, А.Н. Принципы архитектурно-планировочной организации мемориальных комплексов/ А.Н. Соколова // Архитектура и строительство России. — 2015.—№10.— С.32-35.
33. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 №190-ФЗ. Федеральный закон в редакции от 30 декабря 2015 г.

REFERENCES

1. Baburov V.V., Goldenberg P.I., Zaleskaya L.S. and others. Planning and development of cities. - M.: State publishing house of literature on construction and architecture. 1956.- 346 p.
2. Barkhin M. G. City. Structure and composition. - M.: Science. 1986.- 262 p. Link
3. Masdar City. [electronic resource]. - <http://masdar.ae/en/masdar-city/live-work-play> (accessed September 25, 2019).
4. The Sino-Singapore Tianjin Eco-city. [electronic resource]. - <http://www.tianjinecocity.gov.sg/index.htm> (accessed: 09/25/2019).
5. Vuchik V. R. Transport in cities convenient for life. - M.: Publishing House Territory of the Future. 2011. -- 576 p.
6. Gehl Jan, Gemzøe L, Kirknæs S. New City Life. - Copenhagen: Danish Architectural Press. 2006. - 188 p.
7. Zvorykin N. P., Maksimov P. N., Mikhailovsky E. V. Monuments and modern urban development. - M.: Publishing house of literature on construction. 1973. - 153 p.
8. Becker A. Yu., Schenkov A. S. The modern urban environment and architectural heritage. - M.: Stroyizdat. 1986.- 212 p.
9. Yargina 3. N. Aesthetics of the city. - M.: Stroyizdat. 1991. -- 365 p.
10. Ikonnikov A.V., Stepanov A.V. Fundamentals of architectural composition. - M.: Art. 1971.- 222 p.
11. Glazychev V.L., Golts V.A., Karpov S.P. and others. City as a sociocultural phenomenon of the historical process. - M: Science. 1995. -- 351 p.
12. Vityuk, E.Yu. Synergetic approach to the study of the city. / E.Yu. Vityuk // Volga Scientific Journal. - 2009. - No. 1. - S. 116–121.
13. Neumolotov O.B. A systematic approach to solving problems in the field of capital construction. - Voronezh: VSTU. 2002. -- 332 p.
14. Popov G.A. System analysis and problems of urban development. - M.: Science. 1983 - 512 p.
15. Masters of Soviet architecture about architecture. In 2 volumes. Under the general editorship of Barkhin MG Volume I. - M.: Art. 1975. -- 654 p.
16. Lebedev V.T. Notes on the spatial and aesthetic essence of architecture. - M.: Stroyizdat. 1993. -- 256 s.
17. Nesterova AN, Urban environmental support for the creation and functioning of memorial complexes in the reconstruction of urban buildings: dis. ... cand. tech. Sciences: 05.23.22 / Nesterova Alisa Nikolaevna. - Rostov-n / D, 2019. -- 196 p.
18. Ikonnikov A.V. Architectural ensemble. - M.: Knowledge. 1979. - 306 p.
19. Zaitsev A.K. Memorial ensembles in hero cities. - M.: Stroyizdat. 1985. -- 208 p.
20. Iodo I.A., Potaev G.A. Urban planning and territorial planning. - M: Phoenix. 2008. -- 266 p.
21. Lappo G.M. Geography of cities. - M.: VLADOS. 1997. -- 478 p.
22. Golubev G.E. Town-planning fundamentals of the architectural and spatial organization of transport facilities: dissertation for the degree of Doctor of Architecture: 18.00.02 / Grigory Evgenievich Golubev. - M.: 1982. - 282 p.
23. SP 42.13330.2011. Urban planning. Planning and development of urban and rural settlements. Updated edition of SNiP 2.07.01-89*. - M.: Ministry of Regional Development of Russia. 2010. -- 114 p.
24. Vysokovsky A.A. Environmental interpretation of the spatial organization of the city // In the collection of materials of the All-Union Scientific Conference VNIITAG and CA USSR Modern problems of the formation of the urban environment. Part 1. —M.: 1989. S.124–137.
25. Petrova L.V. Architectural and planning techniques for improving the living environment in multi-storey buildings: a dissertation for the degree of candidate of architecture: 18.00.02 / Petrova Larisa Vladimirovna. - M.: 1994. - 177 p.
26. Burak P.I., Mazanova M.B., Rostanets V.G., Morozov Yu.A. Industrial zones of large cities of Russia: mechanisms for regulating development. - M.: Alpha – Dominant. 2003. -- 406 p.
27. Volkov G. N. Three faces of culture. - M.: The Young Guard. 1986.- 335 s.
28. Malinovsky B.K. Scientific theory of culture. - M.: United Humanitarian Publishing. 2005. -- 184 p.
29. Salmin L.Yu. Modeling of the environmental situation and urban design: the dissertation for the degree of candidate of art history: 17.00.06 /. Salmin Leonid Yuryevich - M.: 1988. - 184 p.
30. Cherkasova Yu. V. The architectural image of the city in the cultural-historical context: the dissertation for the degree of candidate of cultural science: 24.00.01 /. Cherkasova Julia Vladimirovna - Komsomolsk-on-Amur: 2012. -- 154 p.
31. Khasieva S.A. Architecture of the urban environment. - M.: Stroyizdat. - 2001. - 200 p.
32. Sokolova, A.N. The principles of architectural and planning organization of memorial complexes / A.N. Sokolova // Architecture and construction of Russia. - 2015. — No. 10. — S.32-35.
33. The Town Planning Code of the Russian Federation dated December 29, 2004 No. 190 – Ф3. Federal Law as amended on December 30, 2015

CHARACTERISTIC OF THE MODERN SUBJECT-SPATIAL ENVIRONMENT OF THE CITY

Nesterova A. N.

Summary The rapid, poorly controlled, and in a number of cases hypertrophied growth of cities and urban agglomerations in the 19th-20th centuries formed the conditions for the emergence of crisis conditions, which were reflected in the theory and practice of architecture and urban planning concepts.

The modern city is a combination of structural elements (subsystems) that are in complex, often poorly formalized relationships with each other: production and non-production processes, external factors that form the conditions for the functioning of the city (as a system of relationships) and form a certain integrity.

Analysis of changes in the lifestyle of modern society and the creation of an architectural environment that can adapt to them becomes a determining condition for the process of formation of the corresponding environment. For practical implementation, the implementation of a systematic approach is required to create an analytical model focused on the formation of a unified and holistic urban environment.

The interconnection of the urban (utilitarian-functional) structure and composition (architectural composition) of the city allows combining multiple private elements (functional, artistic, environmental, social factors) into a single, organic and integral complex of the urban environment, both for new cities and for the existing city structure.

The historical environment of the city is a significant urban development factor, and cultural heritage sites are considered as the most important city-forming elements that are in continuous interaction with other functional areas of the city structure.

Subject: the formation and development of the subject-spatial environment of the city

Materials and methods: presented by the basic methods of scientific analysis and the principles of a systematic approach.

Key words: city, urban structure, architectural ensemble, residential environment, industrial environment, cultural environment, urban planning, construction, architecture.

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПОЛЯ В ТОРОИДАЛЬНЫХ КООРДИНАТАХ

Д.В. Неснов

Самарский государственный технический университет

443100 ул. Молодогвардейская, 244, soft73@mail.ru

Аннотация. Теория поля широко представлена в сферической и цилиндрической системах координат, так как хорошо изучен математический аппарат данных систем координат. Источники поля с более сложными структурами требуют новых подходов к их изучению. Целью данного исследования является адаптация теории поля, отнесенной к криволинейным координатам, с целью ее представления в нормальных тороидальных координатах. А также разработка основ геометрического моделирования с применением средств компьютерной графики для визуализации поверхностей уровня. В статье показаны зависимости нормальных тороидальных координат от прямоугольных декартовых, коэффициенты Ламе. Получены дифференциальные характеристики скалярных и векторных полей в нормальных тороидальных координатах: лапласиан скалярного и векторного полей, дивергенция, ротор векторного поля. На примере показана методика моделирования поля и его дальнейшая компьютерная визуализация. Приведена методика чтения внутреннего уравнения поверхности и показано влияние значений параметров на форму поверхности. Впервые получены выражения характеристик скалярного и векторного полей в нормальных тороидальных координатах, разработаны основы геометрического моделирования полей с привлечением средств компьютерной графики с целью обеспечения наглядности в их изучении. Представление теории поля в специальных координатах значительно упрощает вычисление характеристик поля, когда источник поля имеет сложную структуру. Дальнейшим развитием данной тематики является представление характеристик поля в конических координатах. Данные исследования будут представлены в последующих публикациях.

Предмет исследования: предметом исследования являются элементы теории поля в криволинейных координатах. Исследование направлено на решение проблем описания полей сложной структуры, с источником более сложной формы, чем точка и прямая.

Материалы и методы: работа базируется на положениях общей теории поля в криволинейных координатах. Исследование проведено преимущественно аналитическими методами и с применением графических методов.

Результаты: впервые получены характеристики скалярных и векторных полей в нормальных тороидальных координатах, на приведенном примере показано применение математического аппарата для геометрического моделирования полей.

Выводы: выражения дифференциальных характеристик скалярных и векторных полей в нормальных тороидальных координатах можно использовать для исследования полей сложной структуры, с криволинейным источником. Методика «чтения» внутренних уравнений поверхностей уровня скалярных полей позволяет управлять формой поверхностей уровня поля.

Ключевые слова: теория поля, тороидальные координаты, моделирование, внутренние уравнения поверхностей.

ВВЕДЕНИЕ

Большинство физических процессов и явлений моделируются с применением математического аппарата теории поля. Теория поля в научной литературе широко представлена в векторном изложении в прямоугольных декартовых координатах.

Если источник поля сконцентрирован в точке, его характеристики удобнее описывать в сферических координатах. Изоповерхностями (поверхностями уровня) такого поля являются концентрические сферы с центром в источнике поля. Если источник поля распределен вдоль прямой, его характеристики получают в цилиндрических координатах. Поверхностями уровня такого поля являются соосные цилиндры.

Осложнения математического плана, возникающие при описании полей сложной структуры, например, полей с источником более сложной формы, чем точка и прямая, требуют новых

подходов к изучению процессов, происходящих в среде таких полей. Особенно это касается случаев, когда некоторый объект усложненной формы, является одновременно стоком действия одного поля и источником другого.

Кроме цилиндров и сфер, следующими по простоте элементарными поверхностями, являются конус и тор. Поверхности уровня теплового поля с источником в виде внешних конических и торовых поверхностей не совпадают с семьями эквидистантных конусов и торов. Эти семьи не являются координатными в одной из общеизвестных координатных систем. Это является причиной осложнений, которые возникают при описании полей и определении их характеристик.

Основная идея работы заключается во введении, для представления поля и определения его характеристик, новых или использования известных координатных систем. При этом должно сохраняться условие совпадения координатных семей поверхностей с поверхностями уровня поля или с предельными поверхностями процесса.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Работа базируется на:

- положениях классической общей теории поля в криволинейных координатах [1-7];
- теории параметризации геометрических фигур и условий [8-11];
- а также современных представлениях и исследованиях теории поля [12-16].

В отличие от вышеперечисленных исследований в работе представлена теория поля в нормальных тороидальных координатах. Определителем семейства поверхностей является тор, и соответственно источником тепловых полей – торовая поверхность.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование проведено преимущественно аналитическим методом. Для обеспечения

наглядности в изучении теории поля применен графический метод.

Проблема поиска средств предотвращения осложнений, возникающих при аналитическом описании скалярных и векторных полей вследствие несовпадения поверхностей уровня с координатными поверхностями системы его отнесения актуальна.

Основная идея работы заключается в введении, для представления поля и определения его характеристик, новых или использования известных координатных систем, соответствующих условию совпадения одной или двух координатных семей поверхностей с одной или двумя поверхностями уровня поля или с предельными поверхностями процесса, обеспечивает предотвращение упомянутых осложнений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Функции, которые вводят тороидальные координаты:

$$x = (R + (r + v) \cdot \cos u) \cos t, \quad y = (R + (r + v) \cdot \cos u) \sin t, \quad z = (r + v) \cdot \sin u \quad (1)$$

Область правильной координации нормальными тороидальными координатами

$$\frac{D(x, y, z)}{D(t, u, v)} = \begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial t} & \frac{\partial y}{\partial t} & \frac{\partial z}{\partial t} \\ \frac{\partial x}{\partial u} & \frac{\partial y}{\partial u} & \frac{\partial z}{\partial u} \\ \frac{\partial x}{\partial v} & \frac{\partial y}{\partial v} & \frac{\partial z}{\partial v} \end{vmatrix} = (r + v)[R + (r + v) \cos u] \neq 0 \quad (2)$$

Из (2) следует, что правильность координации пространства нарушается при $v = -\frac{R}{\cos u} - r$, то есть в точках, расположенных на оси Oz , а также при, $v = -R$, что соответствует точкам на линии центров образующей окружности тора-

определителя. Напомним, что R - радиус центров образующей окружности, r - радиус образующей окружности поверхности тора ($R > r$).

Функции зависимости нормальных тороидальных координат t, u, v от прямоугольных декартовых координат:

$$\begin{aligned} x = 0, \quad y > 0 &\Rightarrow t = \frac{\pi}{2}; \\ x = 0, \quad y < 0 &\Rightarrow t = \frac{3\pi}{2}; \\ x > 0, \quad y > 0 &\Rightarrow t = \arctg \frac{y}{x}; \\ x < 0, &\quad t = \arctg \frac{y}{x} + \pi; \\ x > 0, \quad y < 0 &\Rightarrow t = \arctg \frac{y}{x} + 2\pi; \end{aligned} \quad (3)$$

$$u = \arctg \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 - R^2}}; \quad v = \sqrt{(\sqrt{x^2 + y^2 - R^2})^2 + z^2} - r.$$

Выражения для коэффициентов Ламе:

$$\begin{aligned}
 H_t &= \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial t}\right)^2} = R + (r + v)\cos u, \\
 H_u &= \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial u}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial u}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial u}\right)^2} = r + v, \\
 H_v &= \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial v}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial v}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial v}\right)^2} = 1.
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Система нормальных тороидальных координат является триортогональной системой, то есть, пары ее координатных поверхностей ($t = \text{const}$ - полуплоскости, $u = \text{const}$ - конусы вращения, $v = \text{const}$ - торы) пересекаются по линиям кривизны.

Как глобальный (x, y, z), так и локальный (t, u, v) базисы (рис. 1) правые (отсчет происходит по часовой стрелке).

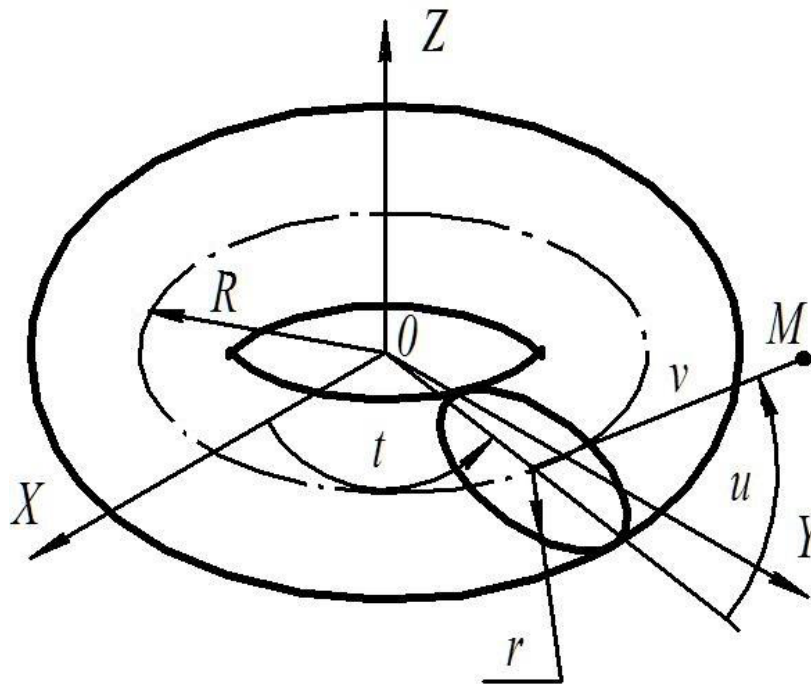


Рис. 1. Изображение тора-определителя

Fig. 1. The image of the determinant torus

Дифференциал дуги

$$\begin{aligned}
 dS^2 &= H_t^2 dt^2 + H_u^2 du^2 + H_v^2 dv^2 = \\
 &= [R + (r + v)\cos u]^2 dt^2 + (r + v)^2 du^2 + dv^2
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Дифференциал объема

$$dW = H_t H_u H_v dt du dv = [R + (r + v)\cos u](r + v) dt du dv
 \tag{6}$$

Дифференциальные характеристики скалярных и векторных полей в нормальных тороидальных координатах.

Скалярное поле представляют функцией

$$F = F(t, u, v)
 \tag{7}$$

Вектор-градиент функции (7) в точке (t, u, v)

$$G = \text{grad}F = G_t e_t + G_u e_u + G_v e_v \quad (8) \quad \text{где } G_t = \frac{1}{H_t} \frac{\partial F}{\partial t}, \quad G_u = \frac{1}{H_u} \frac{\partial F}{\partial u}, \quad G_v = \frac{1}{H_v} \frac{\partial F}{\partial v};$$

Подстановка выражений H_t , H_u и H_v в формулу (8) приводит к:

$$G = \text{grad}F = \frac{1}{R + (r + v) \cos u} \frac{\partial F}{\partial t} e_t + \frac{1}{r + v} \frac{\partial F}{\partial u} e_u + \frac{\partial F}{\partial v} e_v \quad (9)$$

Производная скалярного поля по направлению

$$\bar{l}^0 = \cos \alpha e_t + \cos \beta e_u + \cos \gamma e_v$$

определяется по формуле

$$\frac{dF}{dl} = \frac{G_t}{|G|} \cos \alpha + \frac{G_u}{|G|} \cos \beta + \frac{G_v}{|G|} \cos \gamma, \quad (5)$$

$$\text{где } G_t = \frac{1}{R + (r + v) \cos u} \frac{\partial F}{\partial t}, \quad G_u = \frac{1}{r + v} \frac{\partial F}{\partial u}, \quad G_v = \frac{\partial F}{\partial v}, \quad G = \sqrt{G_t^2 + G_u^2 + G_v^2}.$$

Векторное поле задают при помощи трех скалярных полей $\bar{a}_i = a_i(t, u, v)$, , которые входят коэффициентами в уравнение векторного поля.

$$\bar{a}(t, u, v) = a_t(t, u, v) e_t + a_u(t, u, v) e_u + a_v(t, u, v) e_v \quad (10)$$

Дивергенция векторного поля в криволинейных координатах имеет выражение

$$\text{div } \bar{a} = \frac{1}{H_t H_u H_v} \left[\frac{\partial (a_t H_u H_v)}{\partial t} + \frac{\partial (a_u H_t H_v)}{\partial u} + \frac{\partial (a_v H_t H_u)}{\partial v} \right] \quad (11)$$

Подстановка в формулу (11) коэффициентов Ламе для нормальных тороидальных координат и применения правила дифференцирования

произведения двух функций приводит к выражению дивергенции векторного поля в виде

$$\text{div } \bar{a} = \frac{1}{R + (r + v) \cos u} \frac{\partial a_t}{\partial t} + \frac{1}{r + v} \frac{\partial a_u}{\partial u} + \frac{\partial a_v}{\partial v} - \frac{a_u \sin u}{R + (r + v) \cos u} + \frac{a_v [R + 2(r + v) \cos u]}{[R + (r + v) \cos u](r + v)}. \quad (12)$$

Лапласиан скалярной функции $\Delta F = \text{div grad} F$. В любой криволинейной системе выражение лапласиан получим, применив последовательное

выполнение двух дифференциальных операций: сначала надо найти градиенты (9), а затем дивергенцию (1).

$$\Delta F = \frac{1}{H_t H_u H_v} \left[\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial F}{\partial t} \frac{H_u H_v}{H_t} \right) + \frac{\partial}{\partial u} \left(\frac{\partial F}{\partial u} \frac{H_t H_v}{H_u} \right) + \frac{\partial}{\partial v} \left(\frac{\partial F}{\partial v} \frac{H_t H_u}{H_v} \right) \right] \quad (13)$$

Подстановка в (13) выражения коэффициентов Ламе (4) и применения правил дифференцирования произведения двух функций

позволяет конкретизировать выражение лапласиана (13) в нормальных тороидальных координатах

$$\Delta F = \frac{1}{[R + (r + v) \cos u]^2} \frac{\partial^2 F}{\partial t^2} + \frac{1}{(r + v)^2} \frac{\partial^2 F}{\partial u^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial v^2} + \frac{1}{(r + v)[R + (r + v) \cos u]} \left\{ [R + 2(r + v) \cos u] \frac{\partial F}{\partial v} - \sin u \frac{\partial F}{\partial u} \right\}. \quad (14)$$

Лапласиан векторного поля

$$\Delta \bar{a} = \left\{ \frac{1}{[R+(r+v)\cos u]^2} \frac{\partial^2 a_t}{\partial t^2} + \frac{1}{(r+v)^2} \frac{\partial^2 a_t}{\partial u^2} + \frac{\partial^2 a_t}{\partial v^2} + \frac{1}{[R+(r+v)\cos u](r+v)} \times \right. \\ \left. \times \left[(R+2(r+v)\cos u) \frac{\partial a_t}{\partial v} - \sin u \frac{\partial a_t}{\partial u} \right] \right\} e_t + \left\{ \frac{1}{[R+(r+v)\cos u]^2} \frac{\partial^2 a_u}{\partial t^2} + \right. \\ \left. + \frac{1}{(r+v)^2} \frac{\partial^2 a_u}{\partial u^2} + \frac{\partial^2 a_u}{\partial v^2} + \frac{1}{[R+(r+v)\cos u](r+v)} \left[(R+2(r+v)\cos u) \frac{\partial a_u}{\partial v} - \right. \right. \\ \left. \left. - \sin u \frac{\partial a_u}{\partial u} \right] \right\} e_u + \left\{ \frac{1}{[R+(r+v)\cos u]^2} \frac{\partial^2 a_v}{\partial t^2} + \frac{1}{(r+v)^2} \frac{\partial^2 a_v}{\partial u^2} + \frac{\partial^2 a_v}{\partial v^2} + \right. \\ \left. + \frac{1}{[R+(r+v)\cos u](r+v)} \left[(R+2(r+v)\cos u) \frac{\partial a_v}{\partial v} - \sin u \frac{\partial a_v}{\partial u} \right] \right\} e_v. \quad (15)$$

В какой-либо криволинейной системе вихрь (ротор) векторного поля

$$\text{rot} \bar{a} = W_t e_t + W_u e_u + W_v e_v \quad (16)$$

$$W_t = \frac{1}{H_u H_v} \left[\frac{\partial(a_v H_v)}{\partial u} - \frac{\partial(a_u H_u)}{\partial v} \right];$$

Где

$$W_u = \frac{1}{H_t H_v} \left[\frac{\partial(a_t H_t)}{\partial v} - \frac{\partial(a_v H_v)}{\partial t} \right];$$

$$W_v = \frac{1}{H_t H_u} \left[\frac{\partial(a_u H_u)}{\partial t} - \frac{\partial(a_t H_t)}{\partial u} \right]$$

Для нормальных тороидальных координат с учетом

$$W_t = \frac{1}{r+v} \frac{\partial a_v}{\partial u} - \frac{\partial a_u}{\partial v} - \frac{a_u}{r+v};$$

$$W_u = \frac{\partial a_t}{\partial v} + \frac{1}{R+(r+v)\cos u} \left(a_t \cos u - \frac{\partial a_v}{\partial t} \right); \quad (17)$$

$$W_v = \frac{1}{R+(r+v)\cos u} \left(\frac{\partial a_u}{\partial t} + a_t \sin u \right) - \frac{1}{r+v} \frac{\partial a_t}{\partial u}$$

Подстановка (17) в (16) дает выражение вихря (ротора) в нормальных тороидальных координатах

$$\text{rot} \bar{a} = \left[\frac{1}{r+v} \frac{\partial a_v}{\partial u} - \frac{\partial a_u}{\partial v} - \frac{a_u}{r+v} \right] e_t + \\ + \left[\frac{\partial a_t}{\partial v} + \frac{1}{R+(r+v)\cos u} \left(a_t \cos u - \frac{\partial a_v}{\partial t} \right) \right] e_u + \\ + \left[\frac{1}{R+(r+v)\cos u} \left(\frac{\partial a_u}{\partial t} + a_t \sin u \right) - \frac{1}{r+v} \frac{\partial a_t}{\partial u} \right] e_v \quad (18)$$

Представленные выражения дифференциальных характеристик скалярных и векторных полей значительно упрощают их представление и изучение в нормальных тороидальных координатах.

Примеры численного и графического изучения полей, представленных в нормальных тороидальных координатах

Покажем применение приведенного математического аппарата для геометрического моделирования полей, представленных в нормальных тороидальных координатах.

Пример. Вычислить производную скалярного поля

$$F = h \sin u \cos nt - v, \quad (19)$$

представленного в нормальных тороидальных координатах (1), при $h = 0,75$, $n = 6$, $R = 5$, $r = 2$ по направлению

$$\vec{l} = 0,6e_t + 0,8e_v \quad (20)$$

в точке $t = 0,6$, $u = 2,1$, $v = 0,5$. Представить изображение поверхностей уровня

$$v = h \sin u \cos nt + i\Delta C \quad (21)$$

при $i = -1, 0, 1$, $\Delta C = 0,5$. Привести методику чтения внутреннего уравнения (21) поверхности уровня и показать влияние значений параметров на форму ее поверхности.

Решение. Вычислим локальные координаты вектора градиента функции (19) по формулам (5) в заданной точке

$$G_t = \frac{1}{H_t} \frac{\partial F}{\partial t} = \frac{1}{R + (r + v) \cos u} (-nh \sin u \sin nt) =$$

$$= \frac{1}{5 + (2 + 0,5) \cos 2,1} (-6 \cdot 0,75 \sin 2,1 \cdot \sin(6 \cdot 0,6)) = -0,3661,$$

$$G_u = \frac{1}{H_v} \frac{\partial F}{\partial u} = \frac{1}{r + v} h \sin u \cos nt =$$

$$= \frac{1}{2 + 0,5} 0,75 \cos 2,1 \cdot \cos(6 \cdot 0,6) = -0,1417,$$

$$G_v = \frac{1}{H_v} \frac{\partial F}{\partial v} = \frac{1}{1} (-1) = -1.$$

Модуль вектора градиента

$$|G| = \sqrt{G_t^2 + G_u^2 + G_v^2} = \sqrt{(-0,3661)^2 + (-0,1417)^2 + (-1)^2} = 1,0743.$$

Производная скалярного поля (10) по направлению (11)

$$\frac{dF}{dl} = \frac{G_t}{|G|} \cos \alpha + \frac{G_u}{|G|} \cos \beta + \frac{G_v}{|G|} \cos \gamma =$$

$$= -\frac{0,3661}{1,0743} 0,6 - \frac{0,1417}{1,0743} 0 - \frac{1}{1,0743} 0,8 = -0,9492$$

Для получения изображений поверхностей уровня, необходимо правую часть уравнения (21) подставить в (1). Затем воспользоваться параметрическими уравнениями семьи поверхностей уровня для визуализации, совместно или отдельно, представителей этой семьи с использованием средств компьютерной графики.

На рисунке 2 представлена аксонометрическая проекция поверхностей уровня (21) при $i = -1, 0, 1$, $\Delta C = 0,5$. На рисунке 3 поверхности уровня показаны отдельно друг от друга. Параметры поверхностей $R=5$, $r=2$, $h=0,75$, $n=6$, $u=-1,8 \dots 3,1$, $\Delta C=0,5$, $t=0 \dots 2\pi$.

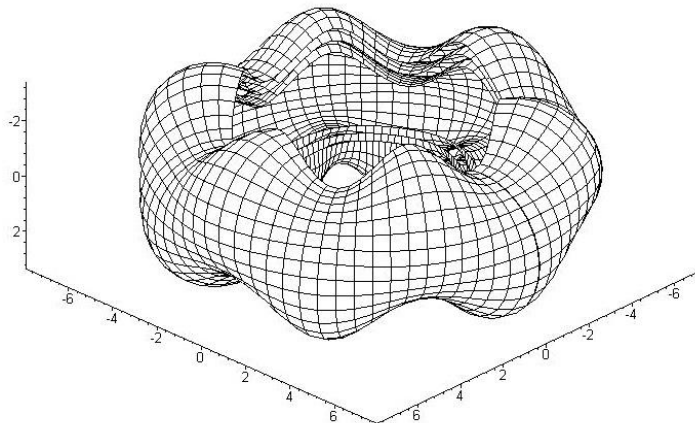


Рис. 2. Поверхности уровня $v = h \cdot \sin u \cdot \cos(n \cdot t) + i \cdot \Delta C$ скалярного поля $F = h \cdot \sin u \cdot \cos(n \cdot t) - v$

Fig. 2. Surfaces of the level $v = h \cdot \sin u \cdot \cos(n \cdot t) + i \cdot \Delta C$ a scalar field $F = h \cdot \sin u \cdot \cos(n \cdot t) - v$

Методика чтения внутреннего уравнения (21) заключается в мысленном синтезе формы поверхности уровня при анализе формы ее координатных линий. Координатная линия $t = \text{const} = p$, согласно уравнения (12), является синусоидой $v = h \sin u \cos np$, ось абсцисс которой деформирована в окружность с центром в точке $x = R + r \cos p, y = R + r \sin p, z = 0$ с радиусом $(r + i\Delta C)$. Амплитуда этой деформированной синусоиды - $h \cdot \cos np$. Ордината v откладывается на лучах в полуплоскости $t = p$ от деформированной оси абсцисс.

Координатная линия $u = \text{const} = q$, расположена на поверхности конуса вращения, нормального к тору-определителю, основанием которого является окружность $u = q$. Координатная линия $u = \text{const}$ это косинусоида $v = h \sin q \cos nt$, ось абсцисс которой деформирована в окружность радиуса $[R + (r + i\Delta C) \cos q]$ с центром в точке $[0, 0, (r + i\Delta C) \sin q]$.

Амплитуда косинусоиды - $h \sin q$, ордината v откладывается на образующих нормального конуса

от деформированной абсциссы. Поскольку $n = 6$, косинусоида на промежутке $0 \leq u \leq 2\pi$ имеет шесть периодов. Надо подчеркнуть, что амплитуды обоих координатных линий переменные: амплитуда синусоиды $t = \text{const}$ зависит от t , амплитуда косинусоиды $u = \text{const}$ - от u .

Влияние значений параметров функций (21) и (1) на форму поверхности уровня можно проследить по изображениям этих поверхностей с одним и тем же внутренним уравнением (21), давая разные значения параметрам как функции (21), так и функциям (1).

Для каждого набора параметров представлено изображение трех поверхностей уровня. Таким образом, оказывается влияние на форму поверхности уровня значение параметра семьи $i\Delta C$.

Параметр n , геометрически определяет количество волн на поверхности в интервале $0 \leq t \leq 2\pi$.

Параметр h можно трактовать как коэффициент амплитуд. На рисунках 2-5 $h = 0,75$.

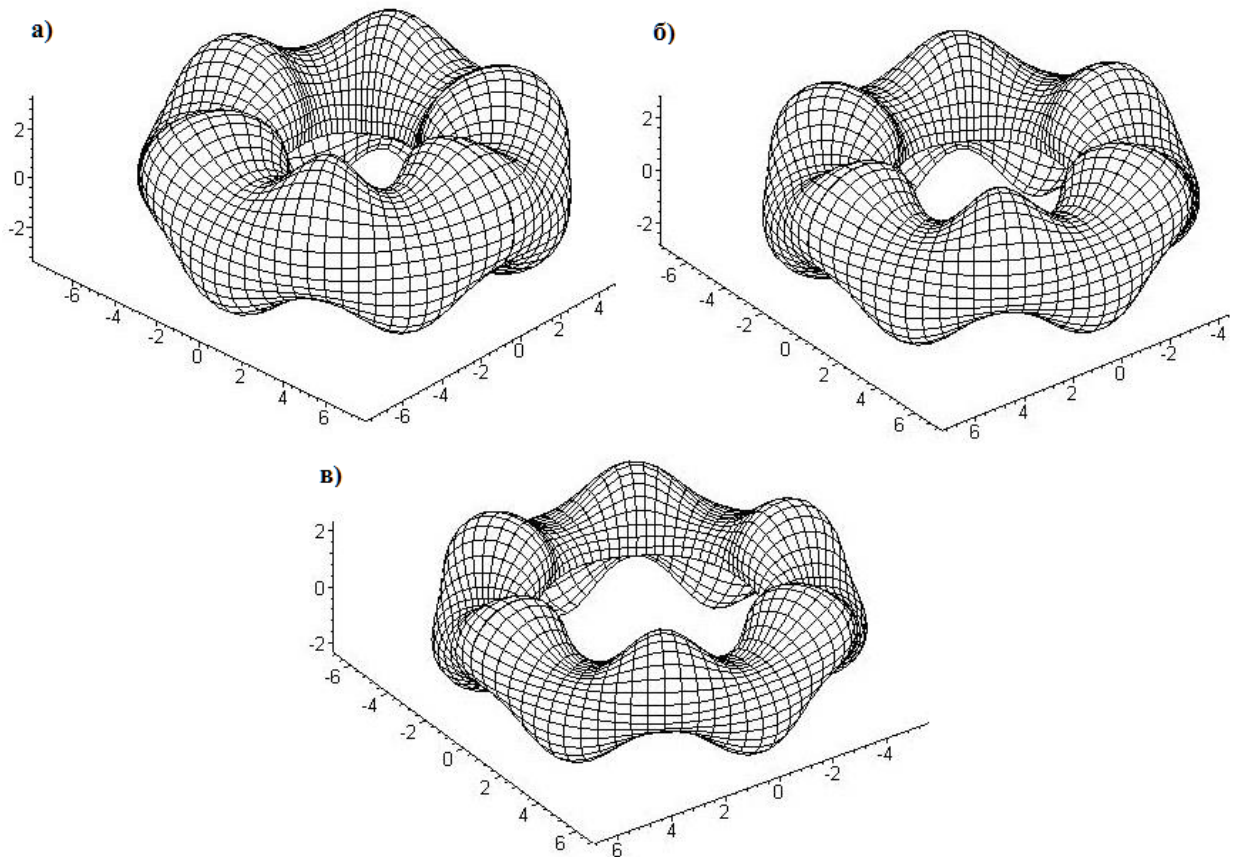


Рис. 3. Поверхности уровня
а) $i=-1$; б) $i=0$; в) $i=1$.

Fig. 3. Surfaces of the level
а) $i=-1$; б) $i=0$; в) $i=1$

Непосредственными параметрами формы поверхностей уровня являются параметры R и r тора-определителя системы нормальных тороидальных координат.

Формой поверхности уровня, точнее ее отсека, можно варьировать изменением интервалов значений нормальных тороидальных координат, входящих в правую часть внутреннего уравнения (21). Рисунки 2-3, получены при различных интервалах значений координаты u . Они не являются параметрами формы поверхности в целом. Скорее их можно определить как параметры формы отсека.

ВЫВОДЫ

1. Для максимальной наглядности в изучении полей, которые представлены в нормальных тороидальных координатах, существует возможность компьютерной визуализации поверхностей уровня полей сложной структуры.

2. В представленном примере приведен математический аппарат описания поверхностей уровня скалярных полей. Так же показаны возможности влияния значений параметров и интервалов изменения переменных на форму поверхностей уровня.

3. В соответствии с приведенными выражениями существует возможность решения различных задач:

- вычисления параметров скалярного поля в заданной точке при известных параметрах тора-определителя и координат точки, с последующей визуализацией структуры поля;

- определение значения C , при котором поверхность уровня поля, представленного в нормальных тороидальных координатах, проходит через точку с заданными координатами;

- компьютерная визуализация полей представленных в нормальных тороидальных координатах при различных значениях R и r .

- вычисление параметров векторного поля (дивергенция, лапласиан, ротор) в нормальных тороидальных координатах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альпин Л.М. Теория поля. - М.: Недра, 1966. - 348 с.
2. Булах Е.Г., Шуман В.Н. Основы векторного анализа и теории поля. - Киев: Наукова думка, 1998. - 300 с.
3. Гольдфайн И.А. Векторный анализ и теория поля. - Москва: Физматгиздат, 1962. - 132 с.
4. Гольдфайн И.А. Векторный анализ и теория поля. - М.: Наука, 1968. - 128 с.
5. Дубнов Я.С. Основы векторного исчисления. - М.: Л.: ГИТТЛ, 1950. - Ч. 1. - 368 с., 1952. - Ч. 2. - 416 с.

6. Мінаєв О.А., Ілюкович Б.М., Ізмайлова М.К. Механіка суцільних середовищ. - К.: Вища школа, 1995. - 272 с.

7. Кочин Н.Е. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления. - М.: Издательство АН СССР, 1961. - 430 с.

8. Джапаридзе И.С. О погружении геометрических соответствий в модели многомерных пространств // Прикладная геометрия и инженерная графика. - Киев: «Будівельник». - 1968. - Вып.6. - С.13-17.

9. Котов И.И., Николаевский Г.К., Рыжов Н.Н., Халдеев И.М. Прикладная геометрия поверхностей // Сб. работ конференции «Вопросы начертательной геометрии и ее приложения». - Харьков: - ХАДИ. - 1963 - Вып.3. - С. 15-19.

10. Pidgorny O.L. From the Theory of the Maps to Geometrical Modeling of Objects, Phenomena and Processes // The Applied Geometry and Engineering Graphics - Kiev: - 2002. - Issue №70. - P. 32-38.

11. Рыжов Н.Н. Общие вопросы задания и параметризации поверхностей // Тезисы докладов Второй всесоюзной геометрической конференции. - Харьков: - 1964. - С. 22-24.

12. L. D. Landau, E. M. Lifshitz, The classical theory of fields (Elsevier, New York, 2013)

13. P. Francesco, P. Mathieu, D. Senechal, Conformal field theory (Springer-Verlag, New York, 2012)

14. J. Quartieri, L. Sirignano, C. Guarnaccia, WSEAS Int. conf. (EMESEG'08), Heraklion, Greece (2008)

15. A. A. Tsinaeva, M. N. Nikitin, Procedia Eng. **150**, 2340-2344 (2016), DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.321

16. M. N. Nikitin, J. of Physics: Conf. series **891**, 12039 (2017), DOI: 10.1088/1742- 6596/891/1/012039

REFERENCES

1. Alpin L.M. Field theory. - M.: Nedra, 1966. - 348 p. (In Russian)
2. Bulakh E.G., Schuman V.N. Fundamentals of vector analysis and field theory. - Kiev: Naukova Dumka, 1998. - 300 p. (In Russian)
3. Goldfayn I.A. Vector analysis and field theory. - Moscow: Fizmatizdat, 1962. - 132 p. (In Russian)
4. Goldfayn I.A. Vector analysis and field theory. - M.: Nauka, 1968. - 128 p. (In Russian)
5. Dubnov Ya.S. Fundamentals of vector calculus. - M.: L.: GITTL, 1950. - Part 1. - 368 p., 1952. - Part 2. - 416 p. (In Russian)
6. Mineva O.A., Ilyukovich B.M., Ismaylova M.K. The mechanism of social means. - K.: Vishka school, 1995. - 272 p. (In Russian)
7. Kochin N.E. Vector calculus and the beginnings of tensor calculus. - M.: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1961. - 430 p. (In Russian)
8. Japaridze I.S. On the immersion of geometric correspondences in the model of multidimensional spaces // Applied Geometry and Engineering Graphics.

- Kiev: Budivelnik. - 1968. - Issue 6. - pp.13-17. (In Russian)
9. Kotov I.I., Nikolaevsky G.K., Ryzhov N.N., Khaldeev I.M. Applied geometry of surfaces // Sat. Conference "Descriptive geometry and its applications." - Kharkov: - HADI. - 1963 - Issue 3. - pp. 15-19. (In Russian)
10. Pidgorny O.L. From the Theory of the Maps to Geometrical Modeling of Objects, Phenomena and Processes // The Applied Geometry and Engineering Graphics – Kiev: - 2002. - Issue №70. – pp. 32-38. (In Ukraine)
11. Ryzhov N.N. General questions of assignment and parameterization of surfaces // Abstracts of the Second All-Union Geometric Conference. - Kharkov: - 1964. - pp. 22-24. (In Russian)
12. L. D. Landau, E. M. Lifshitz, The classical theory of fields (Elsevier, New York, 2013)
13. P. Francesco, P. Mathieu, D. Senechal, Conformal field theory (Springer-Verlag, New York, 2012)
14. J. Quartieri, L. Sirignano, C. Guarnaccia, WSEAS Int. conf. (EMESEG'08), Heraklion, Greece (2008)
15. A. A. Tsinaeva, M. N. Nikitin, Procedia Eng. 150, 2340-2344 (2016), DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.321
16. M. N. Nikitin, J. of Physics: Conf. series 891, 12039 (2017), DOI: 10.1088/1742- 6596/891/1/012039

ELEMENTS OF FIELD THEORY IN TOROIDAL COORDINATES

D.V. Nesnov

Summary Field theory is widely represented in spherical and cylindrical coordinate systems, since the mathematical apparatus of these coordinate systems has been thoroughly studied. Sources of field with more complex structures require new approaches to their study. The purpose of this research is to adapt the field theory referred to curvilinear coordinates and represent it in normal toroidal coordinates. Another purpose is to develop the foundations of geometric modeling with the use of computer graphics for visualizing the level surfaces. The dependence of normal toroidal coordinates on rectangular Cartesian coordinates and Lamé coefficients is shown in this scientific paper. Differential characteristics of scalar and vector fields in normal toroidal coordinates are obtained: scalar and vector field laplacians, divergence, and rotation of vector field. The example shows the technique of modeling the field and its further computer visualization. The technique of reading the internal equation of the surface is presented and the influence of the values of the parameters on the shape of the surface is shown. For the first time, expressions of scalar and vector field characteristics in normal toroidal coordinates are obtained, the fundamentals of geometric modeling of fields with the use of computer graphics tools are developed for the purpose of providing visibility for their study.

Subject: The subject of research is the elements of field theory in curvilinear coordinates. The study aims to solve the problems of describing fields of complex structure, with a source of a more complex shape than a point and a straight line.

Materials and methods: The work is based on the positions of the general field of the field in curvilinear coordinates. The study was carried out mainly by analytical methods and using graphical methods.

Results: For the first time, the characteristics of scalar and vector fields in normal toroidal coordinates were obtained. The above example shows the use of the mathematical apparatus for geometric modeling of fields.

Conclusions: Expressions of the differential characteristics of scalar and vector fields in normal toroidal coordinates can be used to study fields of complex structure, with a curvilinear source. The technique of “reading” the internal equations of scalar field level surfaces allows you to control the shape of the field level surfaces.

Key words: Field theory, toroidal coordinates, modeling, internal equations of surfaces.

УДК 514.18

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СОСТАВОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Бумага А.И.

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 286123, Донецкая Народная Республика, г. Макеевка, ул. Державина, 2, garkavenko68@mail.ru

Аннотация. В работе представлены принципы создания и аналитического описания геометрических алгоритмов моделирования и оптимизации физико-механических свойств и составов композиционных строительных материалов. Формирование геометрических алгоритмов основывается на методе подвижного симплекса. Далее геометрические алгоритмы сводятся к вычислительным, аналитическое описание которых выполнено в рамках математического аппарата геометрического моделирования – БН-исчисление. Приводится пример использования одного из геометрических алгоритмов для моделирования зависимости физико-механических свойств композиционного строительного материала от состава его добавок. При этом оптимизация состава выполнена методами математического анализа функции нескольких переменных.

Ключевые слова: геометрические алгоритмы, моделирование многофакторных процессов, экстремумы функции многих переменных, композиционные строительные материалы, оптимизация состава.

ВВЕДЕНИЕ

Важной составляющей исследований в области многокомпонентных систем является обработка, анализ и оптимизация полученного в результате эксперимента массива данных. Не являются исключением и современные строительные материалы, большая часть которых относится к искусственно-синтезированным композиционным строительным материалам (КСМ). Традиционно в строительном материаловедении применительно к КСМ выделяют две задачи оптимизации. В первую очередь это, конечно же, относится к оптимизации состава КСМ для достижения требуемых значений прочности и устойчивости конечного продукта. Другой задачей является оптимизация технологических режимов, необходимых для синтеза искомого строительного материала с требуемыми физико-механическими характеристиками. Эти задачи обычно решаются путём построения аппроксимационных моделей на основе регрессионного анализа, которые, несомненно, имеют свои преимущества и недостатки. Например, при большом количестве экспериментальных данных, когда имеет место хаотическое облако точек, регрессионный анализ даёт очень хорошие результаты, что и было наглядно продемонстрировано в работах [1-4]. В этих работах предложены методы планирования эксперимента и экспериментально-статистические модели, которые позволяют не только удалить ошибочную информацию, полученную в результате эксперимента, но и изменения физико-механических свойств КСМ в зависимости от изменения значений факторов варьирования эксперимента. Однако при

небольшом объёме экспериментальных данных достоверность полученных результатов, не гарантируются самими методами математической статистики, даже при высоких значениях критериев адекватности. В таких случаях использование экспериментально-статистического моделирования, не является целесообразным и гораздо более эффективными являются методы многомерной интерполяции [5-6], которые могут быть формализованы, например, методами БН-исчисления [7-9]. Эффективность геометрических моделей, полученных методом многомерной интерполяции, применительно к моделированию и оптимизации состава и физико-механических свойств КСМ, была доказана в работах [10-12]. При этом основой полученных моделей были геометрические алгоритмы конструирования многомерных объектов, проходящих через наперёд заданные точки, соответствующие исходным экспериментальным данным.

МЕТОД ПОДВИЖНОГО СИМПЛЕКСА

Используя инвариантные свойства параллельного проецирования в БН-исчислении, был разработан специальный метод подвижного симплекса [13], сущность которого заключается в возможности создания новых геометрических объектов, используя геометрические объекты симплекса подпространства, который, в свою очередь, перемещается в пространстве по каким-то законам. Под симплексом пространства понимается n -мерный тетраэдр (от лат. Simplex – простой) – геометрическая фигура, которая является n -мерным обобщением треугольника. В общем случае,

симплекс пространства – это выпуклая оболочка $n+1$ точек, которые не принадлежат ни одной гиперплоскости n -мерного Евклидова пространства. Такие точки называются вершинами симплекса и являются исходными данными для создания геометрических алгоритмов построения многопараметрических объектов принадлежащих многомерному пространству, аналитическое описание которых выполняется в БН-исчислении. При этом координаты вершин симплекса являются исходными данными для геометрического моделирования многокомпонентных систем композиционных строительных материалов и их физико-механических свойств.

Как видно из определения, симплекс непосредственно связан с размерностью пространства, в котором рассматриваются геометрические объекты. Так симплекс двух точек образует одномерное пространство – линию. Симплекс трех точек образует двумерное пространство – плоскость. Симплекс четырех точек образует трехмерное пространство и т.д. Таким образом, подвижный симплекс пространства становится прообразом для создания новых геометрических объектов. Следует отметить, что предложенный метод по своему смыслу похож на кинематический метод создания пространственных форм. Однако, он имеет более широкий смысл и позволяет выполнить обобщение на многомерное пространство.

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ МЕТОДОМ ПОДВИЖНОГО СИМПЛЕКСА

В БН-исчислении основным элементом является точка. При этом любой геометрический объект вне зависимости от способа своего создания является организованным множеством точек. Тогда описанием процесса систематизации исходных точек для создания искомого геометрического объекта является его геометрический алгоритм, который в работах [5-6] получил название «Дерево геометрической модели». В результате однофакторный процесс представляется организованным однопараметрическим множеством точек – некоторой линией (рис. 1а). Соответственно двухфакторный процесс – двухпараметрическим множеством (рис. 1б), трёхфакторный – трёхпараметрическим (рис. 1в) и т.д. Таким образом, геометрический алгоритм моделирования n -факторного процесса предполагает объединение определённого количества $(n-1)$ -факторных процессов с помощью образующей линии гиперповерхности отклика, принадлежащей $(n+1)$ -пространству. При этом образующая гиперповерхности представляет собой кривую, принадлежащую подвижному симплексу, движение которого обеспечивают текущие точки $(n-1)$ -факторных процессов.

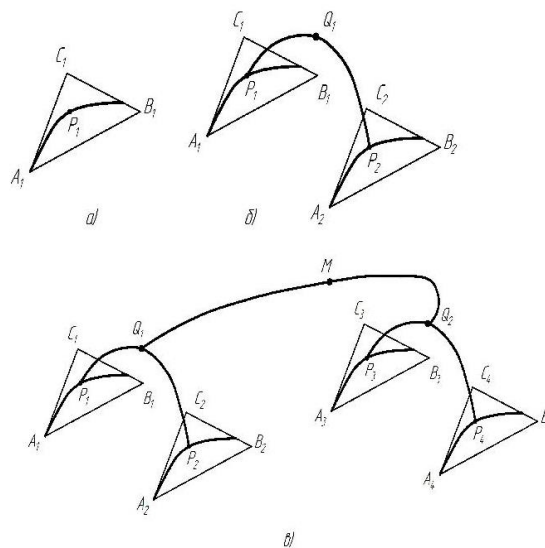


Рис. 1. Геометрические алгоритмы моделирования одно-, двух- и трехпараметрического процесса

Fig. 1. Geometric algorithms modeling of one-, two- and three-parametric process

Для аналитического описания геометрических алгоритмов в БН-исчислении была разработана специальная библиотека дуг алгебраических кривых, проходящих через наперёд заданные точки [12]. Например, дуга кривой 2-го порядка,

проходящая через 3 наперёд заданные точки описывается следующим точечным уравнением:

$$M = (A - C)\bar{t}(1 - 2t) + (C - B)t(1 - 2t) + C,$$

где $\bar{t} = 1 - t$ – дополнение параметра t до 1.

**ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ПРИ
МОДЕЛИРОВАНИИ ДВУХФАКТОРНОГО
ПРОЦЕССА**

Рассмотрим этапы формирования геометрического алгоритма и его аналитического описания на примере модели зависимости физико-механических свойств газобетона от состава и

количества добавок лигносульфоната натрия (ЛСТ) и гидроксида натрия (NaOH).

В работе [14] были получены следующие результаты экспериментальных исследований, которые отражают влияние количества добавок и условий твердения на среднюю плотность и прочность образцов бетонной матрицы и являются исходными данными для моделирования и оптимизации состава в процессе создания газобетона (табл. 1).

Таблица 1. Влияние добавок ЛСТ и NaOH на среднюю плотность и прочность цементно-песчаной матрицы после автоклавирования

Table 1. Effect of LST and NaOH supplements on the average density and strength of the cement-sand matrix after autoclave

Расход добавок в % от массы цемента		Средняя плотность ρ , кг/м ³	Предел прочности при сжатии R , МПа
ЛСТ	NaOH		
0	0	1270	30,4
0,15	0	1375	35,0
0,30	0	1420	38,4
0,60	0	1465	40,6
0	0,15	1285	34,4
0,15	0,15	1400	38,5
0,30	0,15	1455	42,3
0,60	0,15	1515	42,2
0	0,30	1315	39,4
0,15	0,30	1410	42,7
0,30	0,30	1485	44,8
0,60	0,30	1550	49,2
0	0,60	1340	32,1
0,15	0,60	1430	31,6
0,30	0,60	1505	35,3
0,60	0,60	1580	38,7

Следует отметить, что в работе [14] для построения регрессионной модели искомого процесса было выполнено искусственное упрощение, которое заключается в уменьшении количества факторов варьирования до трёх. Для построения геометрической модели искомой зависимости в упрощениях необходимости нет, что является её бесспорным преимуществом.

Составим геометрическую схему (рис. 1) моделирования зависимости средней плотности и прочности цементно-песчаной матрицы от добавок ЛСТ и NaOH в соответствии с план матрицей эксперимента (табл. 1). При этом полученная геометрическая схема (рис. 2) является универсальной и для других физико-механических свойств бетонной матрицы газобетона, меняются только исходные данные, приведенные в таблице 1.

В соответствии с геометрической схемой (рис. 2) геометрический алгоритм построения поверхности отклика, соответствующей исходной экспериментальной информации, будет состоять из

5 этапов. Первые 4 этапа включают в себя определение направляющих линий, которые в данном случае представляют проецирующие сечения искомой поверхности отклика с фиксированными значениями концентрации NaOH. Каждая из построенных направляющих линий проходит через 4 наперёд заданные точки и определяется текущей точкой M_i , где $i \in [1,4]$.

Пятый этап заключается в построении образующей линии поверхности отклика, которая будет проходить через 4 текущие точки направляющих линий M_i , формируя тем самым подвижный симплекс трёхмерного пространства.

Для аналитического описания полученного геометрического алгоритма моделирования поверхности отклика воспользуемся точечным уравнением дуги кривой 3-го порядка, проходящей через 4 наперёд заданные точки. При этом движение точек по направляющим линиям согласуется одним и тем же параметром u .

$$\begin{aligned}
 M_1 &= A_1 [\bar{u}^3 - 2,5\bar{u}^2u + \bar{u}u^2] + A_2 [9\bar{u}^2u - 4,5\bar{u}u^2] + \\
 &+ A_3 [-4,5\bar{u}^2u + 9\bar{u}u^2] + A_4 [\bar{u}^2u - 2,5\bar{u}u^2 + u^3]. \\
 M_2 &= B_1 [\bar{u}^3 - 2,5\bar{u}^2u + \bar{u}u^2] + B_2 [9\bar{u}^2u - 4,5\bar{u}u^2] + \\
 &+ B_3 [-4,5\bar{u}^2u + 9\bar{u}u^2] + B_4 [\bar{u}^2u - 2,5\bar{u}u^2 + u^3]. \\
 M_3 &= C_1 [\bar{u}^3 - 2,5\bar{u}^2u + \bar{u}u^2] + C_2 [9\bar{u}^2u - 4,5\bar{u}u^2] + \\
 &+ C_3 [-4,5\bar{u}^2u + 9\bar{u}u^2] + C_4 [\bar{u}^2u - 2,5\bar{u}u^2 + u^3]. \\
 M_4 &= D_1 [\bar{u}^3 - 2,5\bar{u}^2u + \bar{u}u^2] + D_2 [9\bar{u}^2u - 4,5\bar{u}u^2] + \\
 &+ D_3 [-4,5\bar{u}^2u + 9\bar{u}u^2] + D_4 [\bar{u}^2u - 2,5\bar{u}u^2 + u^3].
 \end{aligned}$$

Аналогичным точечным уравнением, определена образующая поверхности отклика с помощью параметра v :

$$\begin{aligned}
 M &= M_1 [\bar{v}^3 - 2,5\bar{v}^2v + \bar{v}v^2] + M_2 [9\bar{v}^2v - 4,5\bar{v}v^2] + \\
 &+ M_3 [-4,5\bar{v}^2v + 9\bar{v}v^2] + M_4 [\bar{v}^2v - 2,5\bar{v}v^2 + v^3].
 \end{aligned}$$

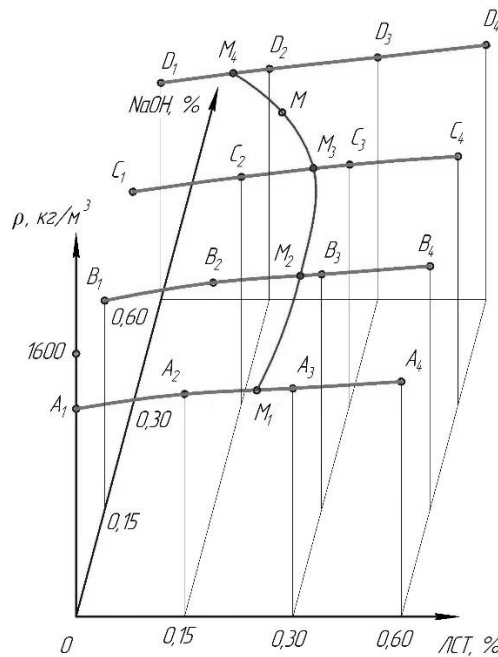


Рис. 2. Геометрическая схема моделирования зависимости средней плотности и прочности цементно-песчаной матрицы от концентрации добавок ЛСТ и NaOH

Fig. 2. Geometric simulation of medium density and strength of cement-sand matrix from the concentration of LST and NaOH supplements

Таким образом, на основе геометрического алгоритма построения поверхности отклика получим вычислительный алгоритм моделирования зависимости физико-механических свойств газобетона от состава добавок, состоящий из пяти точечных уравнений, каждое из которых

соответствует определённому этапу геометрического алгоритма.

Выполнив покоординатный расчёт и подставив в полученный вычислительный алгоритм исходные данные из таблицы 1, получим систему параметрических уравнений, которая для средней плотности газобетона имеет следующий вид:

$$\begin{cases} ЛСТ = 0,675u^3 - 0,675u^2 + 0,6u; \\ NaOH = 0,675v^3 - 0,675v^2 + 0,6v; \\ \rho = 1270 + 465u + 2,5v + 2430u^3v^3 - 3645u^3v^2 + \\ + 1012,5u^3v - 3948,75u^2v^3 + 5973,75u^2v^2 - \\ - 1620u^2v + 1653,75uv^3 - 2598,75uv^2 + 787,5uv - \\ - 540u^2 + 157,5v^2 - 90v^3 + 270u^3. \end{cases}$$

При этом визуализация полученной геометрической модели принимает следующий вид (рис. 3).

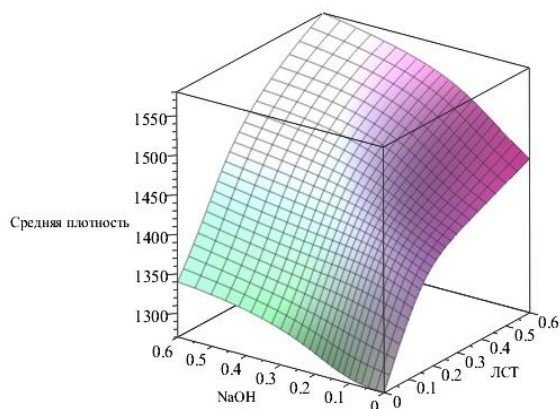


Рис. 3. Визуализация модели зависимости средней плотности от концентрации добавок ЛСТ и NaOH

Fig. 3. Visualization of the medium-density dependency model on the concentration of LST and NaOH supplementation

Из рисунка 3 наглядно видно, что с увеличением концентрации обеих добавок средняя плотность газобетона постоянно растёт. При этом минимальное значение средней плотности достигается при полном отсутствии в составе газобетона исследуемых добавок.

Аналогичным образом получим параметрические уравнения модели отражающей влияние концентраций добавок на изменение предела прочности при сжатии.

$$\begin{cases} ЛСТ = 0,675u^3 - 0,675u^2 + 0,6u; \\ NaOH = 0,675v^3 - 0,675v^2 + 0,6v; \\ R = 15,6u - 2,8v - 522,45u^3v^3 + 739,125u^3v^2 - \\ - 236,925u^3v + 686,475u^2v^3 - 939,6u^2v^2 + \\ + 297,675u^2v - 207,225uv^3 + 263,475uv^2 - \\ - 84,15uv - 5,4u^2 + 64,35v^2 + 30,4 - 59,85v^3. \end{cases}$$

Следует отметить, что в данном случае 2 разные модели получены на основе одних и тех же геометрического и вычислительного алгоритмов. При этом сами алгоритмы оставались без изменений. Изменились только координаты точек, соответствующие исходным данным, приведенным в таблице 1.

Выполним визуализацию и оптимизацию полученной модели зависимости предела прочности при сжатии от состава добавок (рис. 4).

На основе полученной модели оптимизируем состав добавок ЛСТ и NaOH. Для этого методами

математического анализа функции двух переменных определим такие значения концентрации ЛСТ и NaOH, при которых достигается максимальное значение предела прочности при сжатии. В результате максимальное значение предела прочности при сжатии $R = 49,32$ МПа было достигнуто при следующих концентрациях добавок: ЛСТ = 0 % и NaOH = 0,323 %.

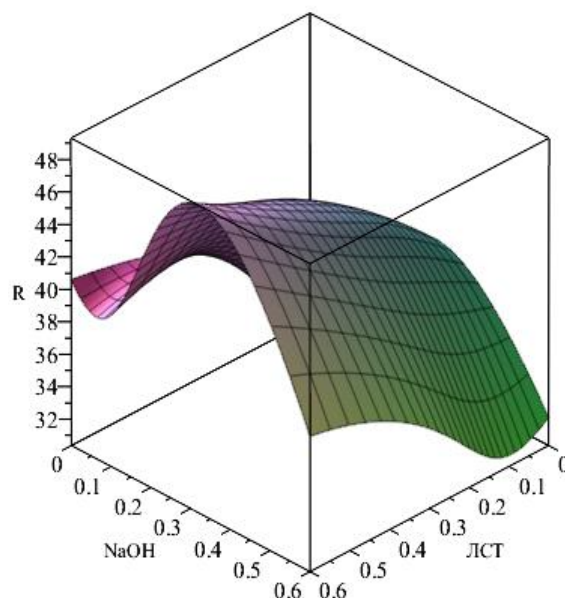


Рис. 4. Визуализация модели зависимости предела прочности при сжатии от концентрации добавок ЛСТ и NaOH

Fig. 4. Visualization of the strength limit dependency model when compressed from the concentration of LST and NaOH supplements

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье исследованы возможности использования геометрических алгоритмов применительно к решению задач моделирования и оптимизации физико-механических свойств и составов композиционных строительных материалов. При этом переход от геометрических алгоритмов построения к их аналитическому описанию в виде вычислительных алгоритмов осуществляется с помощью математического аппарата БН-исчисление, который позволяет каждой геометрической операции построения поставить в соответствие вычислительную операцию или вычислительный алгоритм, состоящий из таких операций. Приведенный пример показал возможности эффективного использования предложенного подхода для геометрического моделирования и оптимизации физико-механических свойств и составов композиционных строительных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вознесенский, В. А. Современные методы оптимизации композиционных материалов / В. А. Вознесенский, В.Н. Выровой, С.В. Коваль, Т.В. Ляшенко и др.; Под ред. В.А. Вознесенского. – К.: Будівельник, 1983. – 144 с.
2. Вознесенский, В.А. Численные методы решения строительного-технологических задач на ЭВМ / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко,

Б.Л. Огарков – К.: Вища школа, 1989. – 328 с.

3. Дворкин, Л.И. Решение строительного-технологических задач методами математического планирования эксперимента / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин, В.В. Житковский. – Ровно: НУВХП, 2011. – 174 с.
4. Dvorkin L., Dvorkin O., Ribakov Y. Mathematical Experiments Planning in Concrete Technology. Nova Science Publishers, New York, USA, 2012, 173 p.
5. Конопацкий, Е.В. Подход к построению геометрических моделей многофакторных процессов и явлений многомерной интерполяции / Е.В. Конопацкий // Программная инженерия. – М.: 2019. – Т.10. – № 2. – С. 77-86.
6. Конопацкий, Е.В. Принципы построения компьютерных моделей многофакторных процессов и явлений методом многомерной интерполяции / Конопацкий Е.В. // Сборник материалов II Международной научно-практической конференции: «Программная инженерия: методы и технологии разработки информационно-вычислительных систем (ПВИВС-2018)». 14-15 ноября 2018 г. – Донецк: ДонНТУ, 2018. – С. 277-287.
7. Балюба, И.Г. Конструктивная геометрия многообразий в точечном исчислении: дис. ... д-ра техн. наук: 05.01.01 / И.Г. Балюба. – Макеевка, 1995. – 227 с.
8. Балюба, И.Г. Точечное исчисление: учебное пособие / И.Г. Балюба, В.М. Найдыш; под ред. В.М. Верещаги. – Мелитополь: МГПУ им.

Б. Хмельницкого, 2015. – 236 с.

9. Введение в математический аппарат БН-исчисление / Бумага А.И., Конопацкий Е.В., Крысько А.А., Чернышева О.А. // Материалы VII Международной научно-практической интернет-конференции «Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом ВУЗе: традиции и инновации». – Пермь: ПНИПУ, 2017. – Вып. 4. – С. 76-82.

10. Бумага, А.И. Оптимизация состава комбинированного заполнителя мелкозернистого бетона методами БН-исчисления / А.И. Бумага, В.И. Братчун, Е.В. Конопацкий // Современное промышленное и гражданское строительство. – Т.12, №2. – С. 92-98.

11. Конопацкий, Е.В. Геометрическая модель зависимости предела прочности при сжатии модифицированного мелкозернистого дегтебетона от четырёх параметров / Е.В. Конопацкий, А.И. Бумага, В.А. Бочоришвили // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Современные строительные материалы: сб. науч. тр. Макеевка: ДонНАСА, 2016. – Вып. 2016-1(117). – С. 55-61.

12. Бумага, А.И. Геометрическое моделирование физико-механических свойств композиционных строительных материалов в БН-исчислении: дис. ... канд. техн. наук.: 05.23.05 и 05.01.01. / А.И. Бумага. – Макеевка, 2016. – 164 с.

13. Давыденко, И.П. Конструирование поверхностей пространственных форм методом подвижного симплекса: Дис. ... канд. техн. наук: 05.01.01. / И.П. Давыденко. – Макеевка, 2012. – 186 с.

14. Аль-Шамси Халед Али Саид. Модифицированные неавтоклавные газобетоны на основе смесей низкой водопотребности: дис. ... кандидата технических наук: 05.23.05 / Аль-Шамси Халед Али Саид. – Макеевка, 1999. – 116 с.

REFERENCES

1. Voznesensky, V.A. Modern methods of optimization of compositional materials / V.A. Voznesensky, V.N. Vyrova, S.V. Koval, T.V. Lyashenko, etc.; Under Ed. V.A. Voznesensky. K.: Budvelnik, 1983. - 144 p. (In Russian)

2. Voznesensky, V.A. Chisley methods of solving construction and technological problems at the computers / V.A. Voznesensky, T.V. Lyashenko, B.L. Ogarkov - K.: The Vichschool, 1989. 328 p. (In Russian)

3. Dvorkin, L.I. Solving construction and technological problems by methods of mathematical planning of the experiment / L.I. Dvorkin, O.L. Dvorkin, V.V. Shitkovsky. - Exactly: NUVHP, 2011. - 174 p. (In Russian)

4. Dvorkin L., Dvorkin O., Ribakov Y. Mathematical Experiments Planning in Concrete

Technology. Nova Science Publishers, New York, USA, 2012, 173 p.

5. Konopatskiy, E.V. Approach to the construction of geometric models of multifactor processes and phenomena of multidimensional interpolation // Software engineering. Moscow: 2019. Vol. 10. No. 2. pp. 77-86. (In Russian)

6. Konopatskiy, E.V. Principles of construction of computer models of multifactor processes and phenomena by the method of multidimensional interpolation // Proceedings of the II International scientific and practical conference: "Software engineering: methods and technologies of development of information and computing systems (PIIVS-2018)" (14-15 November 2018). Donetsk: DonNTU, 2018. pp. 277-287. (In Russian)

7. Baluba I.G. Constructive geometry of varieties in point calculus: dis. Dr. Techn. Sciences: 05.01.01. Makeyevka, 1995. 227 p. (In Russian)

8. Baluba I.G., Naidysh V.M. Point calculus: textbook. Melitopol: MSPU them B.Khmelnitskiy, 2015. 236 p. (In Russian)

9. Introduction to the mathematical apparatus of BN-calculation / Bumaga A.I., Konopatsky E.V., Krysko A.A., Chernysheva O.A. // Materials VII of the International Scientific and Practical Internet Conference "Problems of the quality of graphic training of students in technical university: tradition and innovation." - Perm: PNIPU, 2017. Issue. 4. pp. 76-82. (In Russian)

10. Bumaga, A.I. Optimization of the composition of the combined filler of fine-grained concrete by BN-calculation methods / A.I. Bumaga, V.I. Bratchun, E.V. Konopatsky // Modern industrial and civil construction. - T.12, No.2. pp. 92-98. (In Russian)

11. Konopatsky, E.V. Geometric model of the dependence of the limit of strength when compressing a modified fine-grained degtebetone from four parameters / E.V. Konopatsky, A.I. Bumaga, V.A. Bochorishvili // Herald of the Donbass National Academy of Construction and Architecture. Modern building materials: Sat. Scientific. Tr. Makeyevka: DonNASA, 2016. Issue. 2016-1(117). pp. 55-61. (In Russian)

12. Bumaga, A.I. Geometric modeling of the physical and mechanical properties of composite building materials in BN-calculation: dis. ... kand. Techn. Sciences: 05.23.05 and 05.01.01. / A.I. Bumaga. - Makeyevka, 2016. - 164 p. (In Russian)

13. Davydenko, I.P. Designing surfaces of spatial forms by the method of mobile symplex: dis. ... kand. Techn. Sciences: 05.01.01. / I.P. Davydenko. - Makeyevka, 2012. - 186 p. (In Russian)

14. Al-Shamsi Khaled Ali Saeed. Modified non-autoclave concretes based on low water supply mixtures: dis. ... kand. Techn. Sciences: 05.23.05 / Al-Shamsi Khaled Ali Saeed. - Makeyevka, 1999. 116 p. (In Russian)

GEOMETRIC ALGORITHMS OF MODELING AND OPTIMIZATION OF MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES AND COMPOSITIONS OF COMPOSITE CONSTRUCTIONAL MATERIALS

Bumaga A.I.

Donbas national Academy of civil engineering and architecture,

286123, Donetsk Peoples Republic, Makeyevka, Derzhavina str., 2, garkavenko68@mail.ru

Summary The paper presents the principles of creation and analytical description of geometric algorithms of modeling and optimization of mechanical and physical properties and compositions of composite constructional materials. The formation of geometric algorithms is based on the moving simplex method. Then, the geometric algorithms are reduced to computational algorithms, the analytical description of which was carried out within the framework of the mathematical apparatus of geometric modeling – BN-calculation. The example of the use of one of the geometric algorithms of modeling the dependence of mechanical and physical properties of composite constructional material on the composition of its additives is given. The optimization of the composition is performed by mathematical analysis of the function of several variables.

Key words: geometric algorithms, modeling of multifactor processes, extremums of function of many variables, composite constructional materials, composition optimization

Раздел 2. Строительство

УДК 691.316

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ДОЛОМИТОВОГО ВЯЖУЩЕГО КАРБОНАТНОГО ТВЕРДЕНИЯ

Т.А. Бахтина, Н.В. Любомирский, А.С. Бахтин, А.А. Ярошенко

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, ул. Киевская, 181,
e-mail:t.bakhtina83@gmail.com
e-mail:niklub.ua@gmail.com
e-mail:aleserba@gmail.com
e-mail:lexa2205@mail.ru

Аннотация. В работе приведены результаты экспериментальных исследований по определению возможности получения доломитового вяжущего с низкой эмиссией CO₂. Установлена минимально возможная температура обжига данного вида сырья для получения доломитового вяжущего и карбонизированного материала на его основе с высокими механическими характеристиками. Определены физико-механические характеристики опытных образцов твердевших в среде повышенной концентрации углекислого газа. Сделан прогноз относительно возможности применения разработанного низкообжигового доломитового вяжущего в производстве строительных материалов и изделий карбонатного типа твердения.

Предмет исследования: изменение физико-механических свойств строительных материалов на основе доломитового вяжущего, твердеющих в среде с повышенной концентрацией углекислого газа, в зависимости от технологических факторов.

Материалы и методы: в работе применялись стандартные методы определения физико-механических свойств строительных материалов. Минералогический состав доломитового вяжущего определяли с помощью системы высокотемпературного синхронного ТГА/ДТА/ДСК анализа STA 8000 фирмы Perkin Elmer в интервале температур 30-1000 °С при скорости нагрева 10 °С/мин, в среде азота.

Результаты: получены опытные образцы с прочностью при сжатии 4,0-32,0 МПа при средней плотности 1550-1650 кг/м³ в зависимости от водосодержания сырьевой смеси. Установлено, что водопоглощение по массе опытных образцов снижается по мере увеличения водосодержания сырьевой смеси и составляет 25-19 %. При этом наиболее оптимальное водосодержание доломитового вяжущего полученного при температуре 800-820 °С находится в пределах 12-18 %.

Выводы: проведенные исследования позволили получить низкообжиговое доломитовое вяжущее и строительные материалы карбонатного твердения на его основе с высокими физико-механическими свойствами.

Ключевые слова: доломитовое вяжущее; температура обжига; карбонатное твердение; прочность, эмиссия CO₂.

ВВЕДЕНИЕ. АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ.

Одним из приоритетных направлений развития науки и техники является рациональное природопользование, а также ресурс- и энергосбережение. Данное направление в полной мере может быть реализовано в промышленности строительных материалов, за счет использования менее энергоемких в производстве вяжущих веществ из доступного сырья и изделий на их основе. К такому сырью можно отнести доломитовые породы, которые являются одной из наиболее распространенных и недостаточно освоенных разновидностей минерального сырья.

Они могут применяться для производства различных видов магнезиальных вяжущих веществ и строительных материалов и изделий на их основе. Однако в настоящее время такие вяжущие вещества практически не выпускаются промышленностью. Известны особенности получения качественных минеральных вяжущих из высокомагнезиального сырья – магнезитов и бруситов, но эти породы являются стратегическим сырьем для производства огнеупоров. Поэтому представляет интерес разработка низкообжигового вяжущего вещества карбонатного твердения на основе доломитового сырья, месторождения которого широко распространены.

В зависимости от температуры обжига из доломита возможно получать вяжущие вещества различного состава и назначения:

- каустический доломит, состоящий из MgO и $CaCO_3$, получаемый обжигом доломита при температуре до $750\text{ }^{\circ}C$;

- доломитовый цемент, состоящий из MgO , $CaCO_3$ и CaO получаемый обжигом доломита при температуре до $850\text{ }^{\circ}C$;

- доломитовую известь, состоящую из MgO и CaO , получаемую при мягком обжиге доломита при температуре до $950\text{ }^{\circ}C$.

В настоящее время отечественными [1, 2] и зарубежными [3, 4] учеными ведутся научные исследования по разработке качественных минеральных вяжущих из доломитового сырья путем получения каустического доломита и изучения особенностей химических процессов, протекающих при его твердении в присутствии растворов солей магния. Исследования показали, что для этого необходимо магниевую составляющую сырья ($MgCO_3$) разложить при определенных температурах до MgO и исключить в нем образование CaO . Такие вяжущие обладают высокой механической прочностью и быстрым её нарастанием в начальный период твердения, повышенным, по сравнению с другими вяжущими, показателем предела прочности при изгибе, высокой прочностью сцепления с заполнителями при изготовлении магниезальных бетонов и растворов, а также достаточно высокой коррозионной стойкостью [1, 2]. Однако этот материал имеет и недостатки, выражающиеся в недостаточно высокой его водостойкости и возникновении в затвердевшем материале внутренних напряжений, вызывающих разрушение изделий.

Свойства магниезальных вяжущих, получаемых путем обжига магниезальных пород (магнезита, брусита, доломита) с последующим помолом, определяются активностью оксида магния (периклаза). При этом оксид магния, полученный при невысокой температуре (до $600\text{ }^{\circ}C$), так называемый недожог, представляет собой рыхлый быстро гидратирующийся порошок. При повышении температуры обжига свыше $800\text{ }^{\circ}C$ у оксида магния наблюдается рост кристаллов и повышение плотности, затем MgO переходит в низкоактивную форму – пережог, и скорость гидратации такого вяжущего резко снижается. Именно поэтому, такие вяжущие, как высокоактивной, так и низкоактивной формы не могут использоваться в производстве строительных материалов и изделий из-за склонности магниезального камня к растрескиванию. К тому же материал, состоящий из недожженного вяжущего, имеет очень низкую водостойкость и растрескивается уже в первые несколько суток после его затворения, а материал из вяжущего, содержащего повышенное количества пережога, образует трещины после длительного твердения [5, 6].

Таким образом, основная задача технологии производства вяжущего из доломитового сырья сводится к подбору строго определенного режима обжига, для которого характерен довольно узкий интервал варьирования температуры, что затрудняет промышленное получение данного вяжущего (каустического доломита), основной которого должен являться среднезакристаллизованный и среднеактивный MgO . Особенно это осложняет производство во вращающихся печах диапазон колебания температуры в которых достигает $50\text{--}60\text{ }^{\circ}C$.

Альтернативным решением данной проблемы может являться производство вяжущего вещества из доломитового сырья не требующего соблюдения жестких рамок температуры в зоне обжига и организация твердения изделий на его основе в среде повышенной концентрации CO_2 (карбонатное твердение). Интерес к процессу искусственной карбонизации известковых вяжущих и получения в результате искусственного карбонатного камня возник в начале XX века и активно изучался в середине прошлого столетия [7–9]. В большинстве случаев научный интерес к процессу карбонизации сводился к проблеме, как предотвратить активную карбонизацию свободного гидроксида кальция в бетоне, вызывающую карбонизационную усадку, и повысить долговечность строительных изделий и конструкций [10, 11].

Вопросом изучения карбонизации доломитовой извести занимались не многие ученые. Профессор Н.Н. Михайлов предложил использовать карбонизацию для повышения активности доломитового вяжущего [12]. В результате прочность образцов, изготовленных из раствора на чистом доломите, после 7 суток твердения на воздухе достигала $9,2\text{ МПа}$, а после карбонизации $19,5\text{ МПа}$. В растворе с песком $1 : 3$ пластичной консистенции прочность образцов составила при естественном твердении $4,4\text{ МПа}$, а после карбонизации $27,8\text{ МПа}$. Согласно исследованиям П.П. Будникова и К.Э. Горяйнова [13] изучавших процесс коррозии минераловатных волокон в щелочной среде, карбонизация доломитовой извести подразделяется на два периода. Первый период соответствует поглощению газа CO_2 , необходимого для карбонизации гидроксида кальция, второй период то же – гидроксида магния. Процесс карбонатного твердения происходит в диффузионной области в жидкой среде и определяется величиной потока углекислого газа. При этом возникает резко выраженный фронт реакции, перемещающийся в образце в направлении газового потока. Карбонизация минераловатных изделий на доломитовом вяжущем при их толщине $80\text{--}100\text{ мм}$ завершалась в течение $30\text{--}45\text{ мин}$.

Однако, полученные отдельные положительные результаты по искусственной карбонизации доломитовых вяжущих не нашли широкого распространения в производстве строительных материалов и изделий, но позволяют судить о наличии существенного потенциала данного

вяжущего для строительной индустрии. Анализ литературных источников позволил сделать вывод, что исследования направленные на изучение взаимодействия CO₂ с доломитовым вяжущим, проводились в основном на литых системах с большим количеством воды. Определенный интерес представляют системы для получения изделий способом прессования.

В связи с вышесказанным, целью настоящей работы является определение возможности получения качественных строительных изделий на основе доломитового вяжущего карбонатного твердения, путем установления закономерностей взаимодействия углекислого газа с доломитовым вяжущим, формирования физико-механических

свойств материала после его искусственной карбонизации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для исследования использовали доломит добываемый в карьере «Каменные Борницы» Ленинградской области предприятия ОАО «Карьеры Доломитов» фракцией до 10 мм. Химический анализ исходного сырья определяли с помощью рентгенофлуоресцентного анализа на ЭД-спектрометре Epsilon 3XLE (PANalytical). Результаты анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав доломита

Table 1. Chemical composition of dolomite

Наименование	Содержание, %							
	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	K ₂ O	TiO ₂
Доломит	25,77	20,57	10,62	2,88	0,75	0,03	0,87	0,11

Минералогический состав исходного доломита определяли с помощью системы высокотемпературного синхронного ТГА/ДТА/ДСК анализа STA 8000 фирмы Perkin Elmer в интервале температур 30-1000 °С при

скорости нагрева 10 °С/мин, в среде азота (см. рис. 1). Минералогический состав исходного доломитового сырья рассчитанный по результатам термического анализа представлен в табл. 2.

Таблица 2. Минералогический состав исходного доломита

Table 2. Mineralogical composition of the initial dolomite

Потери в интервале температур 450-840 °С, %	Содержание MgCO ₃ , %	Потери в интервале температур 840-1000 °С, %	Содержание CaCO ₃ , %	Примеси, %
22,0-23,0	42,2-44,1	20,0-21,0	45,5-47,8	до 13

Данные термического анализа вполне согласуются с результатами рентгенофлуоресцентного анализа в части определения оксидов кальция и магния, которые в основном и определяют вяжущие свойства данного вида сырья. Согласно данным термического анализа (см. рис.1) на представленной дериватограмме присутствуют два ярко выраженных эндотермических эффекта при температурах 827 °С и 880 °С, которые соответствуют разложению магнезитовой и кальцитовой составляющих доломита. Температурный интервал диссоциации магнезитовой составляющей 800-845 °С, кальцитовой – 845-925 °С. Горизонтальной площадки на кривой ТГ между этими двумя эффектами не наблюдается, что говорит о том, что процессы разложения составляющих доломита накладываются друг на друга. Следовательно, из

такой породы невозможно получить после обжига продукт с полностью разложившейся магнезитовой составляющей без разложения кальцитовой.

Согласно ранее проведенным исследованиям [14-16], в активное химическое взаимодействие с углекислым газом вступает Ca(OH)₂, при этом водосодержание системы должно быть оптимальным. При таких условиях процесс перехода Ca(OH)₂ в CaCO₃ занимает не более 3 часов, а полученный искусственный карбонатный камень характеризуется значительными физико-механическими свойствами и может быть использован для производства различных строительных изделий, в том числе облицовочных.

В связи с целью получения низкообжигового доломитового вяжущего, было принято решение обжечь данный доломит при температуре соответствующей экстремуму разложения

магнезитовой составляющей, а полученный продукт обжига затворить водой для получения доломитового вяжущего, с последующей организацией его карбонатного твердения. Обжиг доломита осуществляли в лабораторной муфельной печи марки SNOL 6,7/1300 в течении 45 мин. Для обжига использовали фракцию доломита 5-10 мм. Обожженный продукт измельчали до прохождения

сквозь сито с ячейкой 1,25 мм и затворяли водой. Из вяжущего полученного после гашения и сушки, методом прессования изготавливали опытные образцы-цилиндры. Диаметр и высота образцов составляли 30 мм. Водосодержание формовочной смеси варьировалась в пределах от 0 до 24 % мас., удельное давление прессования – 30 МПа.

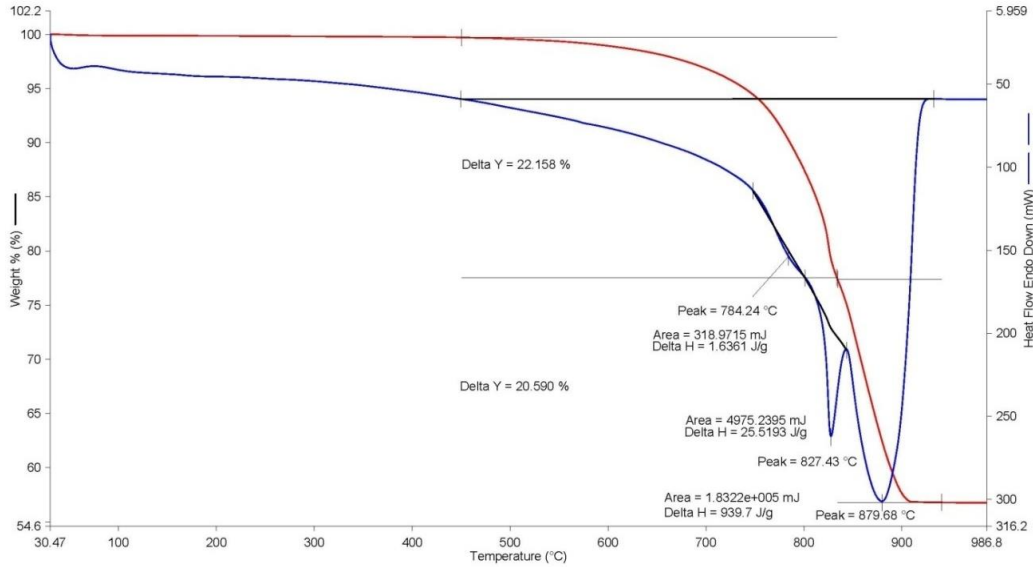


Рис. 1. Дериватограмма образца доломита Борницкого месторождения.

Fig. 1. Thermogram of a sample of dolomite from the Bornitsy deposit.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

По результатам термического анализа (рис. 1) доломит обжигали в муфельной печи при температуре 820 °С. Обжиг при данной температуре

должен дать материал с максимальным содержанием MgO и минимальным CaO, а основная часть кальцитовой составляющей должна остаться в виде CaCO₃. Результаты термического анализа такого вяжущего после его гашения и сушки представлены на рис. 2.

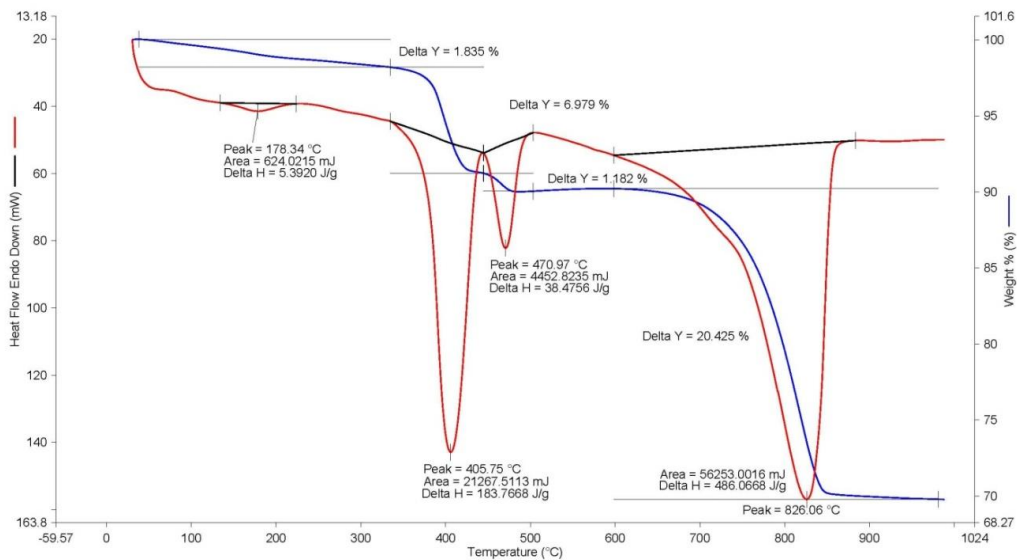


Рис. 2. Дериватограмма доломитового вяжущего полученного при 820 °С после его гашения и сушки.

Fig. 2. Thermogram of the dolomite binder obtained at 820°C after its quenching and drying.

Полученное при 820 °С вяжущее имеет три ярко выраженных эндотермических эффекта: первый с максимумом при 406 °С соответствует дегидратации Mg(OH)₂, второй при 471 °С дегидратации Ca(OH)₂,

третий при 826 °С – диссоциации карбоната кальция. Минералогический состав полученного доломитового вяжущего рассчитанный по результатам термического анализа представлен в табл. 3. Незначительный эндозффект при 178 °С с потерей массы в 1,84 %, соответствует удалению адсорбционной воды.

Таблица 3. Минералогический состав доломитового вяжущего полученного при 820 °С

Table 3. Mineralogical composition of dolomite binder obtained at 820°C

Потери в интервале температур 350-450 °С, %	Содержание Mg(OH) ₂ , %	Потери в интервале температур 450-520 °С, %	Содержание Ca(OH) ₂ , %	Потери в интервале температур 520-980 °С, %	Содержание CaCO ₃ , %
6,98	22,7	1,18	4,9	20,43	46,4

Искусственную карбонизацию опытных образцов-цилиндров полученных из данного вяжущего осуществляли в специальной камере [17] без избыточного давления и повышения температуры. Концентрация CO₂ в камере карбонизации поддерживалась в диапазоне 30-35 %. Время карбонизации составляло 90 минут. По истечении времени карбонизации образцы

высушивались до постоянной массы и определялись их физико-механические свойства в соответствии с нормативными стандартами. Определение механических характеристик опытных образцов осуществляли на автоматической системе испытаний на базе консоли управления МСС8 (Controls). Результаты испытаний представлены в табл. 4.

Таблица 4. Физико-механические свойства опытных образцов в зависимости от условий получения

Table 4. The physico-mechanical properties of the test samples, depending on the conditions of production

№ п/п	Условия получения		Свойства опытных образцов до карбонизации			Свойства опытных образцов после карбонизации		
	Давление прессования P _{уд.} , МПа	Водосодержание смеси W, %	R _{сж.} , МПа	ρ _{о.} , кг/м ³	W _{м.} , %	R _{сж.} , МПа	ρ _{о.} , кг/м ³	W _{м.} , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	30,0	0	4,0	1494	24,9	4,2	1494	24,8
2		6	9,3	1535	24,1	13,3	1612	21,9
3		12	12,7	1545	23,8	26,7	1641	20,3
4		18	12,2	1551	23,0	31,7	1655	19,1
5		24	4,1	1536	24,7	4,0	1536	24,7

Анализируя значения данных прочности при сжатии табл. 4 можно сделать вывод, что процесс активной карбонизации проходит в диапазоне начального водосодержания смеси 6-18 % мас., о чем свидетельствует увеличение прочности карбонизированных образцов в 1,4-2,6 раза в сравнении с образцами без карбонизации. Также

увеличивается средняя плотность карбонизированных образцов на 5-6 %, при этом в большей степени для образцов с водосодержанием 12 и 18 % мас. и снижается водопоглощение по массе. График изменения прочности при сжатии образцов до и после карбонизации представлен на рис. 3.

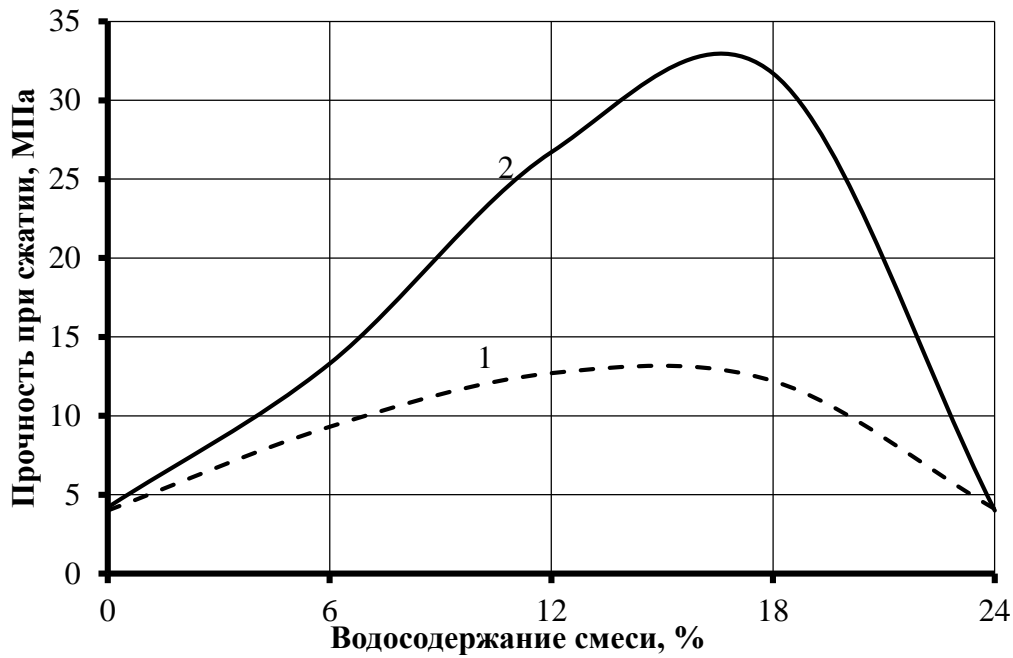


Рис. 3.Изменение прочности при сжатии образцов до и после карбонизации в зависимости от начального водосодержания смеси: 1 – до карбонизации, 2 – после карбонизации.

Fig. 3. The change in compressive strength of the samples before and after carbonization, depending on the initial water content of the mixture: 1 – before carbonation, 2 – after carbonization.

При этом стоит отметить, что характеристики образцов с нулевой влажностью и влажностью свыше 24 % мас. не изменяются, что свидетельствует об отсутствии химической реакции карбонизации в материале образцов. Для

определения качественного и количественного процесса реакции карбонизации был проведен термический анализ карбонизированного материала образцов полученных при водосодержании смеси 18 %. Результаты представлены на рис. 4.

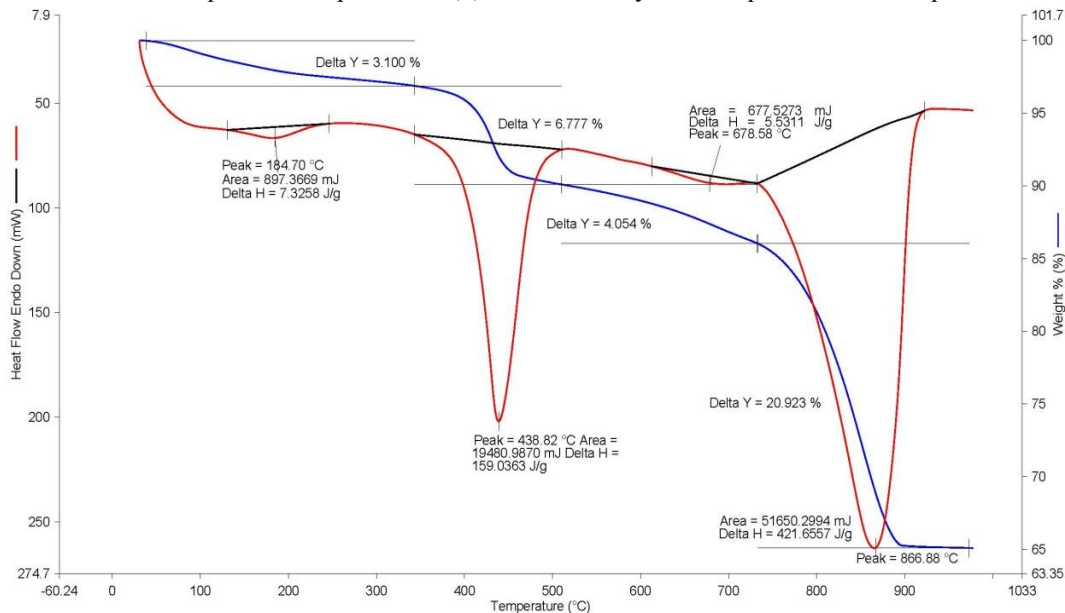


Рис. 4.Дериватограмма карбонизированного материала образцов полученных при начальном водосодержании смеси 18 %.

Fig. 4. Thermogram of the carbonized material of the samples obtained at the initial water content of the mixture of 18%.

Дериватограмма представленная на рис. 4 характеризуется наличием двух эндоэффектов. Первый при температуре 439 °С соответствует разложению $Mg(OH)_2$, второй при 867 °С – $CaCO_3$.

Сравнивая результаты термического анализа до и после карбонизации (рис. 2 и рис. 4) можно сделать вывод, что гидроксид магния практически не вступает в реакцию карбонизации. Следует отметить что потеря массы в диапазоне температур 370-520 °С характеризующих дегидратацию $Mg(OH)_2$ снижается на 0,2 %, что соответствует снижению гидроксида магния после карбонизации на 0,7 %. Соответственно, на рис. 4 появляется незначительный эндоэффект в интервале температур 630-740 °С характеризующий разложение 1,3-1,8 % мас. $MgCO_3$. При этом суммарная потеря массы в диапазоне 520-740 °С составила 4,1 %, что предположительно говорит о наличии в системе гидрокарбонатов магния, различных по составу. Присутствия фазы $Ca(OH)_2$ в системе после карбонизации не выявлено, а количество $CaCO_3$ рассчитанное по потере массы в диапазоне 740-950 °С, увеличилось в среднем на 2 %, что согласуется с количественным содержанием $Ca(OH)_2$ в системе до карбонизации.

Таким образом, после карбонизации образцов с начальным водосодержанием 18 % мас. в течение 90 минут весь гидроксид кальция находящийся в системе в результате взаимодействия с углекислым газом перешел в карбонат кальция. При этом привлекает внимание тот факт, что данные карбонизированные образцы обладают высокой прочностью при средней плотности материала 1655 kg/m^3 . Водопоглощение по объему характеризующее наличие открытых пор для данных образцов составило 32,1 %, а коэффициент размягчения 0,6. Анализируя количество гидроксида магния вступившего в реакцию с CO_2 , можно сделать вывод что при нормальных условиях протекания данной реакции $Mg(OH)_2$ практически не вступает в химическое взаимодействие с образованием конечного продукта реакции – $MgCO_3$. По видимому это связано с очень низкой растворимостью гидроксида магния в воде (0,0012 г/100 мл) в сравнении с растворимостью гидроксида кальция (0,19 г/100 мл).

Структуру карбонизированных образцов изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа серии MIRA3 (TESCAN). Результаты представлены на рис.5.

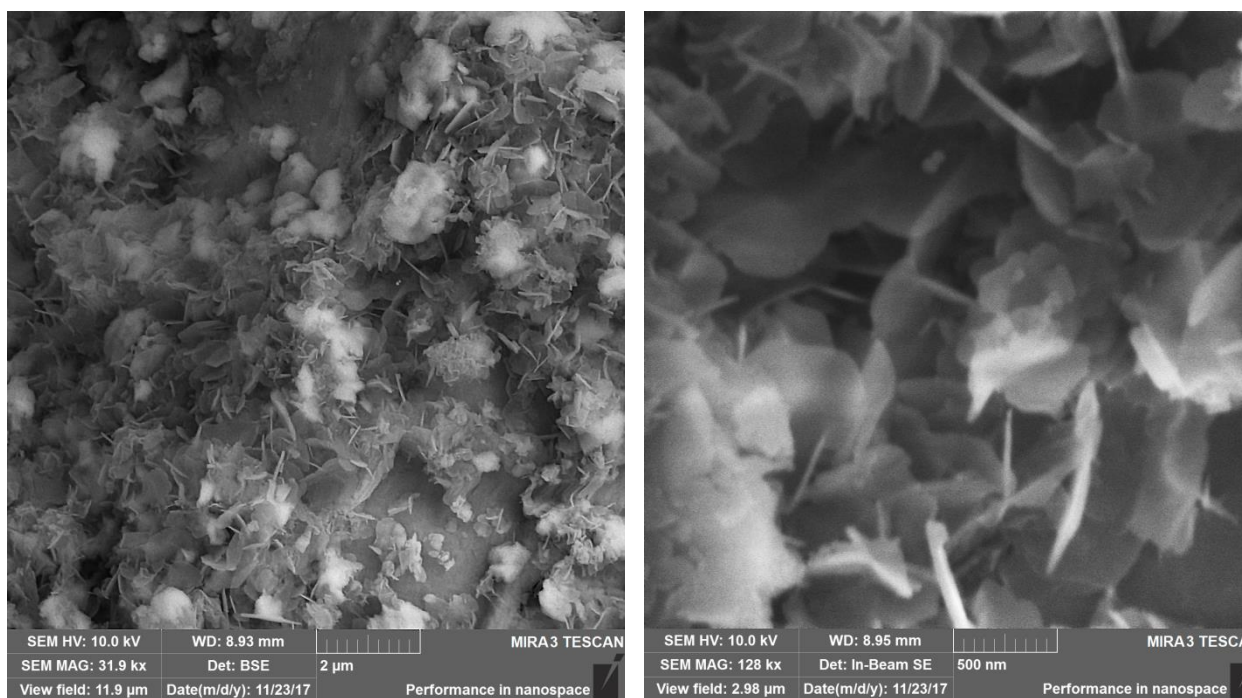


Рис. 5. Микроструктура карбонизированного материала образцов полученных при начальном водосодержании смеси 18 %.

Fig. 5. The microstructure of the carbonized material of the samples obtained at the initial water content of the mixture of 18%.

Структура карбонизированного материала представлена пластинчатыми кристаллами $Mg(OH)_2$, расположенными на подложке из ромбоэдрических кристаллов доломита и кальцита. Размеры в продольном и поперечном направлениях

кристаллов $Mg(OH)_2$ находятся в пределах от 0,2 до 1 мкм, при толщине 20-70 нм. Размеры ромбоэдрических кристаллов доломита и кальцита варьируются в пределах от 2 до 30 мкм. Анализируя данные рис. 5 можно отметить, что в результате

искусственной карбонизации образцов из доломитового вяжущего, полученного обжигом доломита при 820 °С формируется прочная структура с кристаллами различной формы и размеров, в которой гидроксид магния, вероятно, выполняет роль армирующего каркаса, а карбонат кальция – связующей матрицы. При этом карбонизированный материал обладает достаточно высокой открытой пористостью и низкой плотностью. Высокие значения прочности при сжатии полученные в краткие сроки объясняются тем что остатки неразложившегося доломита и его кальцитовая составляющая, вероятно, являются активными компонентами, влияющими на структурообразование данной системы, выступая в качестве «подложки» для ориентированной кристаллизации новообразованного кальцита на поверхности доломитовых и кальцитовых частиц с формированием прочных когезионных контактов, создавая таким образом компактную сросшуюся структуру из кристаллов кальцита и доломита, армированную кристаллами гидроксида магния не вступившего в реакцию карбонизации.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что потенциал доломитового сырья в производстве строительных материалов и изделий используется не в полной мере. Из данного сырья возможно получение низкообжигового вяжущего с низкой эмиссией CO₂. Суть данного утверждения заключается в определении минимально возможной температуры обжига доломитового сырья, которая бы обеспечивала оптимальный фазовый состав вяжущего, обеспечивающий получение материала карбонатного твердения с высокими механическими характеристиками. Для исследуемой доломитовой породы минимальная температура обжига, обеспечивающая необходимые требования составила 820 °С. При этом выбросы углекислого газа в атмосферу, с учетом его частичного связывания за счет карбонизации составили 150-170 кг на одну тонну обожженного доломита. Необходимо также учесть, что значение температуры обжига будет варьироваться в зависимости от химического состава исходного доломитового сырья. Подбор минимальной температуры обжига будет способствовать снижению выделяющегося в данном процессе углекислого газа, а направление этого CO₂ в технологический процесс в качестве сырьевого компонента будет способствовать его минимальному выбросу в атмосферу. Таким образом, получая низкообжиговое доломитовое вяжущее и, используя отходящий углекислый газ в технологическом процессе, получается замкнутая ресурсосберегающая технология производства низкоуглеродных строительных изделий карбонатного твердения. При этом данные изделия не требуют длительной выдержки для достижения ими марочной прочности, как например, на основе

портландцемента, так как основные физико-механические характеристики карбонизированного материала достигаются при завершении технологического процесса производства. Невысокая температура обжига, использование вторичных сырьевых ресурсов (отсевы доломитов, выбросы CO₂), быстрый технологический цикл производства, все эти аспекты соответственно снижают себестоимость данных готовых изделий.

Исследования выполнены при финансовой поддержке внутривузовского гранта Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского в рамках научного проекта No. ВГ 01/2018.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Высокопрочное доломитовое вяжущее / А.В. Носов, Т.Н. Черных, Л.Я. Крамар, Е.А. Гамалий // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2013. – Т. 13. – № 1. – С. 30–37.
2. Душевина А.М. Разработка способов комплексного использования доломитов. Дисс. к-ттехн. наук. Барнаул. 2005. С. 184.
3. Szybilski M., Nocuń-Wczelik W. The Effect of Dolomite Additive on Cement Hydration / M. Szybilski, W. Nocuń-Wczelik // Procedia Engineering. – 2015. – Vol. 108. – P. 193–198.
4. Mechanism of growth of MgO and CaCO₃ during a dolomite partial decomposition / H. Galai, M. Pijolat, K. Nahdi, M. Trabelsi-Ayadi // Solid State Ionics. – 2007. – Vol. 178, Iss. 15–18. – P. 1039–1047.
5. Проблемы нормирования свойств магнезиальных вяжущих строительного назначения и их решение / И.М. Баранов // Строительные материалы. - 2014. - № 3. - С. 45-47.
6. Черных Т.Н., Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я. и др. Влияние степени закристаллизованности периклаза на свойства магнезиального вяжущего / Материалы межд. научно-практич. конф. «Современные технологии в промышленности строительных материалов стройиндустрии». Вестник БГТУ. Белгород. 2005. № 9. С. 47–50.
7. O. Cizer, K. Van Balen, J. Elsen, D. Van Gemert. Crystal morphology of precipitated calcite crystals from accelerated carbonation of lime binders. Proc. ACEME08, 2nd International Conference on Accelerated Carbonation for Environmental and Materials Engineering, 1-3 October 2008, Rome, Italy, pp. 149-158.
8. K. Van Balen. Carbonation reaction of lime, kinetics at ambient temperature / K. Van Balen. // Cement and Concrete Research Volume 35. – 2005. – Issue 14. – P. 647 – 657.
9. De Silva P., Bucea L., Moorehead D.R., Sirivatnanon V. Carbonate binders: Reaction kinetics, strength and microstructure. Cement & Concrete Composites. 2006. No. 28, Pp. 613–620.
10. Wang Wei, Lu Caifeng, Li Yunxia, Yuan Guanglin, Li Qingtao. Effects of stress and high temperature on the carbonation resistance of fly ash

concrete // *Construction and Building Materials*. – 2017. No. 138, Pp. 486–495.

11. Ta Van-Loc, Bonnet S., Senga Kiese T., Ventura A. A new meta-model to calculate carbonation front depth within concrete structures // *Construction and Building Materials*. – 2016. No. 129, Pp. 172–181.

12. Михайлов Н.Н. Искусственная карбонизация как способ повышения активности доломитового вяжущего / Н.Н. Михайлов, А.М. Кузнецов // *Строительные материалы*. – 1960. – №9. – С. 28 – 30.

13. Будников П.П. Карбонизированные минераловатные изделия на доломитовом связующем / Будников П.П., Горайнов К.Э., Каминская А.Ю., Капачаускас И.М. // *Строительные материалы*. – 1968. – №5. – С. 20 – 22.

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

15. Любомирский Н.В. Исследование влияния режимов принудительного карбонатного твердения на свойства материалов на основе известково-известняковых композиций полусухого прессования / Любомирский Н.В., Федоркин С.И., Бахтин А.С., Бахтина Т.А., Любомирская Т.В. // *Строительные материалы*. – Москва. – 2017. – № 8. – С. 7 – 12.

16. Бахтина Т.А. Разработка материала на основе известково-карбонатно-кальциевых композиций для аддитивных технологий / Бахтина Т.А., Любомирский Н.В., Бахтин А.С., Николаенко Е.Ю. // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2019. № 4. С. 8 – 16.

17. Пат. 28051 Україна, МПК (2006) G09B 5/00. Пристрій для вивчення процесу карбонізації: Пат. 28051 Україна, МПК (2006) G09B 5/00 М.В. Любомирський, С.І. Федоркін, Т.О. Локтіонова, О.С. Бахтін (Україна). – № у 2007 07543; Заявл. 05.07.2007; Опубл. 26.11.2007, Бюл. № 19. – 2 с.

REFERENCES

1. Nosov V, Chernykh T, Kramar L and Gamaly E 2013 *Bul. of SUSU Ser. Const. Engin. and Arch.* vol 13 1 30-37.

2. Dushevina A Development of methods for the integrated use of dolomites 2005 *Thes. of the cand. of techn. scienc.* Barnaul p 184.

3. Szybilski M., Nocuń-Wczelik W. The Effect of Dolomite Additive on Cement Hydration / M. Szybilski, W. Nocuń-Wczelik // *Procedia Engineering*. – 2015. – Vol. 108. – P. 193–198.

4. Mechanism of growth of MgO and CaCO₃ during a dolomite partial decomposition / H. Galai, M. Pijolat, K. Nahdi, M. Trabelsi-Ayadi // *Solid State Ionics*. – 2007. – Vol. 178, Iss. 15–18. – P. 1039– 1047.

5. Baranov I Problems of Standardization of Properties of Magnesia Binders for Construction Purposes and Their Resol 2014 *Constr. Mat.* 3 45-47.

6. Chernykh T, Kramar L and Trofimov B 2005. Influence of degree of a crystallinity of a periclase on properties of magnesian knitting *Int. scient. and pract. Conf. Modern technologies in the construction materials industry of the construction industry (Belgorod) vol 9* pp 47–50.

7. O. Cizer, K. Van Balen, J. Elsen, D. Van Gemert. Crystal morphology of precipitated calcite crystals from accelerated carbonation of lime binders. *Proc. ACEME08, 2nd International Conference on Accelerated Carbonation for Environmental and Materials Engineering, 1-3 October 2008, Rome, Italy,* pp. 149-158.

8. K. Van Balen. Carbonation reaction of lime, kinetics at ambient temperature / K. Van Balen. // *Cement and Concrete Research Volume 35*. – 2005. – Issue 14. – P. 647 – 657.

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

10. Wang Wei, Lu Caifeng, Li Yunxia, Yuan Guanglin, Li Qingtao. Effects of stress and high temperature on the carbonation resistance of fly ash concrete // *Construction and Building Materials*. – 2017. No. 138, Pp. 486–495.

11. Ta Van-Loc, Bonnet S., Senga Kiese T., Ventura A. A new meta-model to calculate carbonation front depth within concrete structures // *Construction and Building Materials*. – 2016. No. 129, Pp. 172–181.

12. Mikhaylov N 1960 Simulated carbonization as way of increase in activity of dolomitic knitting *Constr. Mater.* 9 28-30.

13. Budnikov P, Goryaynov K, Kaminskas A and Kapachauskas I 1968 Carbonized mineral-cotton products on dolomitic binding *Constr. Mater.* 5 20-22.

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

15. Lyubomirskiy N.V. Research in Influence of Regimes of Forced Carbonate Hardening on Properties of Materials on the Basis of Lime-Limestone Compositions of Semidry Pressing / N.V. Lyubomirskiy, S.I. Fedorkin, A.S. Bakhtin, T.A. Bakhtina, T.V. Lyubomirskaya // *Stroitel'nye materialy*. 2017. № 8. Pp. 7–12.

16. T.A. Bakhtina Development of a material based on lime-carbonate and calcium compositions for additive technologies / Bakhtina T.A., Lyubomirskiy N.V., Bakhtin A.S., Nikolaenko E.Y. // *Bulletin of Belgorod State Technological University named after. V. G. Shukhov*. 2019. № 4. C. 8 – 16.

17. Lyubomirskiy N, Fedorkin S, Loktionova T and Bakhtin S 2007 Patent 28051 Ukraine IPC (2006) G09B 5/00 A device for studying the carbonization process *Bull.* 19. 2 p. – № у 2007 07543; Заявл. 05.07.2007; Опубл. 26.11.2007, Бюл. № 19. – 2 с.

BUILDING MATERIALS BASED ON DOLOMITE BINDING CARBONATE HARDENING

Bakhtina T.A. , Lyubomirskiy N.V. , Bakhtin A.S. , Yaroshenko A.A.

Summary. The paper presents the results of experimental studies to determine the possibility of obtaining a dolomite binder with low CO₂ emissions. The minimum possible firing temperature of this type of raw material was established to obtain a dolomite binder and carbonized material based on it with high mechanical characteristics. The physicochemical characteristics of prototypes hardened in a medium of high concentration of carbon dioxide are determined. A forecast is made regarding the possibility of using the developed low-fired dolomite binder in the production of building materials and carbonate-type hardening products.

Materials and methods: in the work, standard methods were used to determine the physicochemical properties of building materials. The mineralogical composition of the dolomite binder was determined using a high-temperature synchronous TGA / DTA / DSC analysis system STA 8000 from Perkin Elmer in the temperature range 30-1000 ° C at a heating rate of 10 ° C / min, in a nitrogen atmosphere.

Results: prototypes were obtained with a compressive strength of 4.0-32.0 MPa at an average density of 1550-1650 kg / m³ depending on the water content of the raw material mixture. It was found that water absorption by weight of experimental samples decreases with increasing water content of the raw material mixture and amounts to 25-19%. In this case, the most optimal water content of dolomite binder obtained at a temperature of 800-820°C is in the range of 12-18%.

Conclusions: the studies performed allowed us to obtain low-fired dolomite binder and building materials for carbonate hardening based on it with high physical and mechanical properties.

Keywords: dolomite binder; firing temperature; carbonate hardening; strength, CO₂ emissions.

УДК 624.1

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПЕРЕКРЫТИЙ С ПЛАСТМАССОВЫМИ ВКЛАДЫШАМИ, ЧАСТИЧНО ЗАМЕНЯЮЩИМИ МОНОЛИТНЫЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОН

Шаленный В.С., Смирнов А., Леоненко К.

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

Аннотация. В статье рассмотрены известные и перспективные конструктивно-технологические системы устройства монолитных железобетонных перекрытий гражданских зданий. Показаны примеры и целесообразность использования всевозможных вкладышей из пластмассы и других более лёгких материалов и изделий для замены части тяжёлого монолитного железобетона. Представлены усовершенствованные конструкции таких перекрытий и результаты оценки эффективности инновационных предложений.

Предмет исследования: сравнительная технико-экономическая эффективность разработанных конструктивно-технологических решений плоских железобетонных перекрытий с пластмассовыми вкладышами, заменяющими тяжёлый монолитный железобетон.

Материалы и методы: описание, анализ и обобщение состояния вопроса, синтез новых конструктивно-технологических решений перекрытий и их сравнение с существующими аналогами, компьютерное моделирование их работы и затрат с последующим анализом и представлением результатов исследования.

Результаты: установлена целесообразность и сравнительная эффективность замены бетона пластмассовыми вкладышами предложенной формы на объекте-представителе, заключающаяся в снижении расхода бетона на 22,5%, арматурной стали - на 26% и себестоимости - на 13,4% по сравнению с применением сплошного плоского монолитного железобетонного перекрытия одинаковой площади.

Выводы: предложена отечественная инновационная конструктивно-технологическая система устройства междуэтажных железобетонных перекрытий, дающая положительный эффект в виде экономии стали и железобетона, она может быть рекомендована для внедрения в практику многоэтажного гражданского строительства; использование вкладышей из переработанных отходов пластмассы позволит также утилизировать их без нанесения ущерба окружающей среде.

Ключевые слова: ресурсосбережение; замена тяжёлого бетона пластмассовыми вкладышами; сборно-монолитные перекрытия.

ВВЕДЕНИЕ

Производство железобетонных перекрытий гражданских зданий, по сравнению с другими основными элементами несущего каркаса, при использовании любой известной технологии и организации работ (полносборные заводского производства, монолитные, бетонированные в опалубке или сборно-монолитные) отличается существенно большими удельными затратами ресурсов, а следовательно, и стоимостью их устройства. Это объясняется их проектной работой на изгиб, что требует применения бетонов повышенной прочности, а также достаточного армирования для восприятия расчётных нагрузок. Причём проектные нагрузки для сборных конструкций перекрытий заводского изготовления должны дополнительно включать также технологические, складские, монтажные и транспортные. А в случае монолитного исполнения, требуется и большой комплект опалубки, определяемый существенно более длительными сроками до начала разопалубливания перекрытий из-за необходимости восприятия проектных нагрузок сразу же после распалубки.

Перечисленное предопределяет актуальность дальнейших научных исследований и предпроектных разработок, направленных на снижение общей ресурсоемкости производства и применения инновационных сборно-монолитных конструкций [1] железобетонных перекрытий многоэтажных гражданских зданий.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

Эффективным и широко распространенным в бывшем СССР и технологичным решением прошлого следует признать использование сборных многопустотных плит перекрытий многоэтажных гражданских зданий. Изменяя шарнирно-подвижную расчётную и фактическую схему работы на защемление в монолитной опирной зоне с сохранением обратного выгиба можно добиться ещё некоторой экономии ресурсов (например, наш патент RU № 2617813 С2), представленный в [2, с.153-157]. Там же освещаются и последние разработки ЦНИИЭПЖилища по внедрению в практику высотного гражданского строительства домов нового поколения, отличающихся использованием полносборных многопустотных железобетонных

плит перекрытий увеличенных пролётов, толщины и несущей способности [3]. Сдерживающим фактором развития и широкого распространения таких инновационных конструктивно-технологических систем в будущем, к сожалению, является отсутствие отечественного оборудования для заводского изготовления многопустотных железобетонных плит. Простые же и проверенные временем, поточно-агрегатные линии изготовления преднапряженных многопустотных плит, в большинстве случаев, ликвидированы в период кризиса, а покупные зарубежные стендовые линии беспалубочного формования, хотя принципиально и есть энергосберегающими, но предварительно требуют крупных капиталовложений, которые могут окупиться лишь при массовом строительстве упомянутых домов нового поколения.

Поэтому как в России, так и за рубежом, все большее распространение получают компромиссные сборно-монолитные конструктивно-технологические системы малоэтажного гражданского строительства. Доля сборно-монолитных конструкций для перекрытий в странах Евросоюза по разным оценкам составляет от 20% до 35% [4]. В России же до 2008 года такие перекрытия не применялись вовсе. В то время как такие конструкции имеют меньший собственный вес, более высокие показатели по теплозащите и звукоизоляции, не требуют использования мощной грузоподъёмной техники и других сопутствующих трудозатрат [5].

Ориентируясь на известные зарубежные сборно-монолитные системы перекрытия Porotherm (Австрия, пустотные вкладыши из керамических блоков); перекрытие TERIVA (Польша, пустотные вкладыши из бетона, включая керамзитобетон); перекрытие YTONG (Швеция, вкладыши из газобетонных блоков); □ перекрытие Rectolight (Франция, вкладыши из изогнутой прессованной древесины); □ перекрытие FIT SLAB (Италия, штампованные пластмассовые ребристые вкладыши), в Российской Федерации запатентована и развивается отечественная инновационная технология СМП МАРКО [6, 7]. Одним из её возможных совершенствований можно признать и наши предложения по использованию вкладышей из блоков известняка (ракушечника), как местного материала для возведения малоэтажных домов на Крымском полуострове [8, 9].

Для конструктивных систем многоэтажных зданий с полным монолитным железобетонным каркасом и плоскими плитами перекрытий снижение их собственного веса за рубежом достигают также путём замены части бетона пластмассовыми вкладышами различной формы: - шарами и подобными им телами вращения (технология Bubbl Deck), прямоугольными параллелепипедами (технология NAUTILUS) и др. Причём в своих проспектах разработчики показывают до 35%, и даже до 50% экономии железобетона с вытекающими отсюда другими улучшенными технико-экономическими

показателями [10, 11]. Проводились и аналитические исследования сравнительных прочностных и деформативных свойств таких систем по сравнению со сплошной железобетонной плитой [12]. Однако эти исследования в упомянутой работе не доведены до уровня оценки экономической эффективности внедрения технологии на конкретных объектах хотя бы той же Индии.

В Российской Федерации также обратили внимание на перечисленные конструктивные системы перекрытий и предложили их использование для замены деревянных конструкций перекрытий, как наиболее материалоемких конструкций гражданских зданий, в частности, при их капитальном ремонте [13]. Автором разработаны и рекомендованы для реконструкции перекрытий технологии с использованием не извлекаемых шаровидных и призматических вкладышей из пластика и пенополистирола, обеспечивающие сокращение продолжительности работ на 18-20% с соответствующим улучшением других экономических и эксплуатационных показателей. Рассматривается возможность использования облегчённых конструкций при замене перекрытий в реконструируемых зданиях и в статье [14]. Отмечается, что это позволяет снизить нагрузки на существующие конструкции стен и фундаментов, а также снизить материалоемкость самих перекрытий. По результатам проведённых исследований предложены наиболее оптимальные соотношения схем опирания конструкций и используемых пустотообразователей в них.

Специалисты Приднестровской государственной академии строительства и архитектуры прогнозируют снижение капитальных затрат в целом до 40% при использовании пустотообразователей квадратного сечения из пенополистирола рациональной формы [15]. И, наконец, рассмотрена возможность использования пустотных форм при устройстве монолитных фундаментов. Так запроектирована фундаментная плита средней части стилобата жилого комплекса в Московской области, где расчёт базовой пластины был проведён в SCAD Office пакета программного обеспечения (версия 21.1). Экономия бетона составила 22,3%, армирования - 5% [16].

Российская Федерация безусловно имеет свои особенности при внедрении подобных инновационных разработок, свои особенности имеют и её регионы, в том числе, и Крымский полуостров. Здесь до сих пор существенное значение имеют транспортные составляющие себестоимости строительной продукции. А в инновационной системе Bubbl Deck, пластмассовые шары, хотя и намного легче чем заменяемый ими монолитный железобетон, но возить их пока придётся намного дальше, что негативно повлияет на стоимость домостроительной продукции. Ведь, не имея большого собственного веса, отдельные пластмассовые шары или пространственные блоки из них в комплексе с нижней плитой-опалубкой и

арматурным каркасом заводского изготовления, занимают большой объем транспортных средств при доставке на объект. Поэтому необходима доработка безусловно прогрессивной зарубежной технологии с созданием усовершенствованной импортозамещающей отечественной, обладающей новизной и патентной чистотой в РФ, а также существенными технико-экономическими преимуществами перед зарубежными аналогами.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данной работы является разработка и технико-экономическая оценка эффективности внедрения усовершенствованной импортозамещающей технологии устройства облегченного сборно-монолитного перекрытия с пластмассовыми вкладышами оригинальной формы и расположения. **Задачи:**

- анализ состояния вопроса эффективности инновационных технологий устройства облегченного монолитного перекрытия для определения направлений дальнейшего совершенствования;
- совершенствование известных систем сборно-монолитных перекрытий для замены возможно большего объема бетона в перекрытиях с разработкой новой формы пластмассового пустотообразователя;
- исследование и сравнительная оценка ожидаемой экономии материалов при внедрении предложенной технологии;
- детальная разработка научно обоснованной таким образом технологии бетонирования плоских железобетонных перекрытий с применением пластиковых пустотообразователей оригинальной формы и расположения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

После проведения патентного поиска, изучения сведений из сети Интернет и, частично представленного здесь, литературного обзора синтезирована и запатентована оригинальная конструкция плоского монолитного перекрытия, имеющая отличительные признаки и новый технический результат, заключающийся в снижении расхода железобетона за счёт учёта действительной работы сечения этой железобетонной конструкции [17, 18]. Указанный технический результат достигается тем, что конструкция монолитного перекрытия, содержащая верхнюю и нижнюю, расположенные в горизонтальных плоскостях, проволочные сетки, между которыми расположены ряды каркасов, чередующиеся с вкладышами, пространство между которыми заполнено бетоном, **согласно полезной модели**, вкладыши выполнены с ножками, разъёмными, состоящими не менее чем из двух частей (Рис.1).

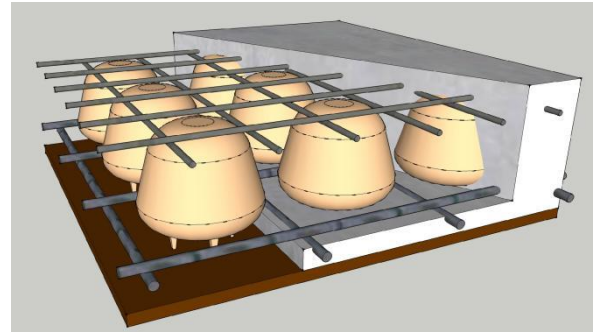


Рис. 1. Фрагмент конструкции перекрытия с заменой части тяжёлого бетона вкладышами из пластмассы
Fig. 1. Fragment of the overlap construction with the replacement of part of heavy concrete with plastic inserts

Как видно из Рис.1, вкладыши представляют собой пространственные объёмные тела вращения по форме близкие к форме груши, образованные при вращении вокруг оси OX кривой F, состоящей из соединения трёх линий, описываемых формулами:

$$(x - 50)^2 + (y - 21,5)^2 = 50^2, \text{ где } 0 \leq x \leq a_1$$

$$; y = 0,266x + 60, a_1 \leq x \leq b_1;$$

$$(x - 120)^2 + (y - 60,99)^2 = 948, b_1 \leq x \leq 149,8,$$

где a_1 – точка пересечения первой и второй линий, b_1 – точка пересечение второй и третьей линий (Рис. 2).

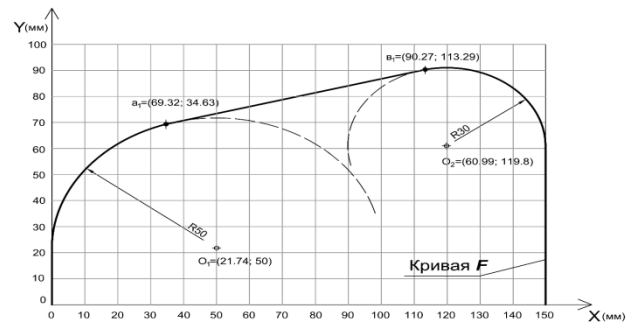


Рис.2. Кривая F, образующая форму пустотообразователя

Fig. 2. Curve F forming the shape of a void former

Для оценки сравнительной эффективности предложенной конструктивно-технологической системы монолитного перекрытия поставлена и решена задача компьютерного моделирования работы и соответствующего армирования инновационного перекрытия и сплошного монолитного на одном и том же объекте-представителе. Реализован вычислительный эксперимент на конкретном объекте – многоэтажном каркасном здании гражданского назначения, запроектированном и построенном в г. Краснодаре (Рис.3).

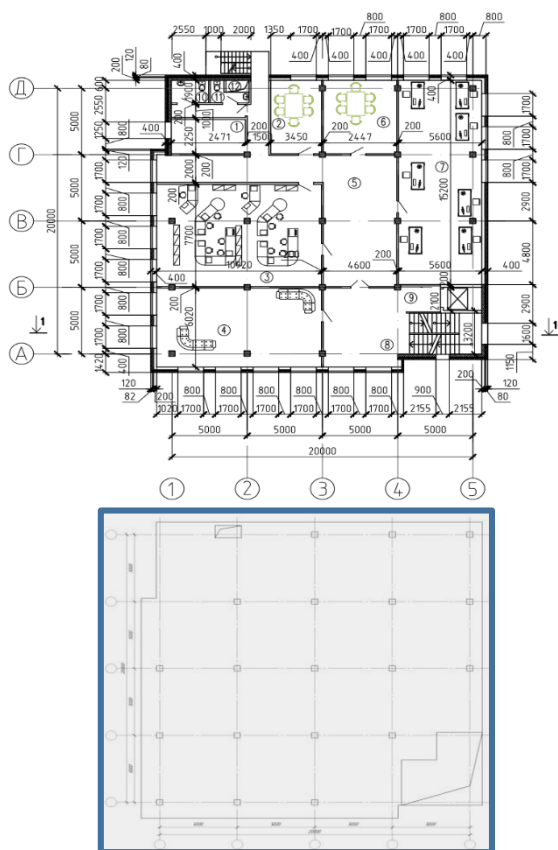


Рис.3. Планы типового этажа и его плиты перекрытия как объекта исследования

Fig. 3. Plans for a typical floor and its floor slab as an object of study

Объект представляет собой 8-ми этажное офисное здание прямоугольной в плане конфигурации, с габаритными размерами в осях 20×20 м и высотой 32 м. Высота этажа – 3,4м. Метод конечных элементов в нашем случае вычислительного эксперимента был реализован в программном комплексе Лира. С точки зрения конструктивной системы, мы предположили, что инновационное перекрытие представляет собой часторебристую монолитную железобетонную конструкцию, отличительной особенностью которой является наличие взаимно перпендикулярных рёбер одинаковой высоты, расположенных равномерно с одинаковым шагом в обоих направлениях и связанных между собой сплошными полками сверху и снизу, минимально возможной толщины, армированные двумя сетками. При этом основную несущую способность, как и в многпустотных плитах, обеспечивают ребра. Но здесь ребра образуют сетку в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Поэтому, в данной работе, перекрытие смоделировано пластинами определённой жёсткости, для учёта взаимовлияний, перераспределения напряжений, элементов монолитной конструкции (Рис.4).

Указанные элементы конструкции модулировались пластинами, а ребра и тонкостенные элементы - КЭ41, плита опорная – КЭ11.

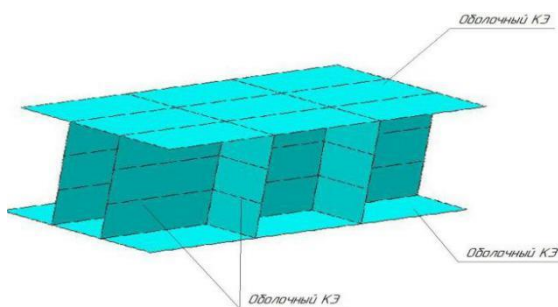


Рис.4. Моделирование предложенной конструкции плиты при помощи пластинчатых и оболочечных конечных элементов

Fig. 4. Simulation of the proposed plate design with the help of lamellar and shell finite elements

Исходные данные для расчётов и проектирования сплошной плиты по базовому варианту: сплошная плита толщиной $\delta = 220$ мм, класс бетона В25, $E_b = 3,0 \cdot 10^7$ кН/м².

Колонна сечением 400×400 мм, класс бетона В25, $E_b = 3,0 \cdot 10^7$ кН/м².

Нагрузка на 1м² плиты:

а) собственный вес плиты, задаётся автоматически в ПК Лира-САПР 2014;

б) собственный вес 1м² цементно-песчаной стяжки $\delta = 5,0$ см, $\square = 22$ кН/м³ $0,04 \cdot 22 \cdot 1,3 = 1,15$ кН/м²;

в) собственный вес 1м² пола – 0,50 кН/м² $0,50 \cdot 1,3 = 0,65$ кН/м²;

г) собственный вес 1 м² перегородок 2,0 кН/м² $2,0 \cdot 1,1 = 2,2$ кН/м²;

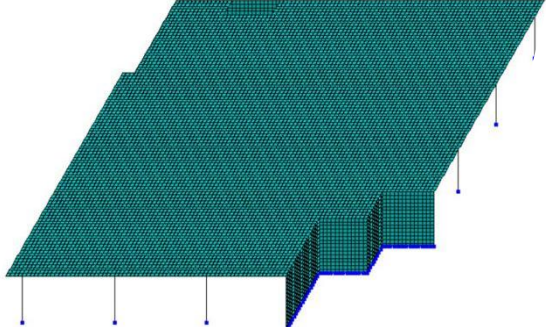
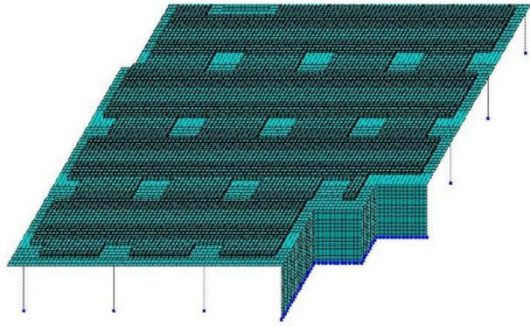
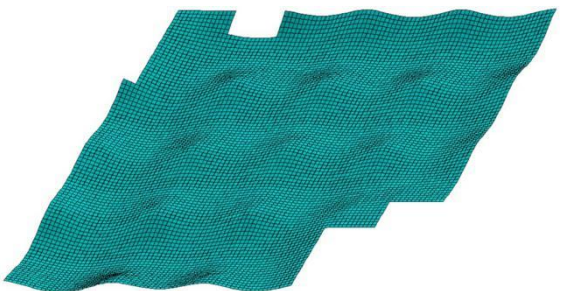
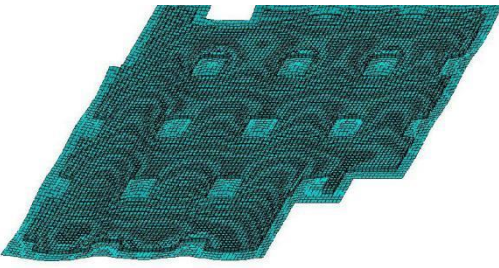
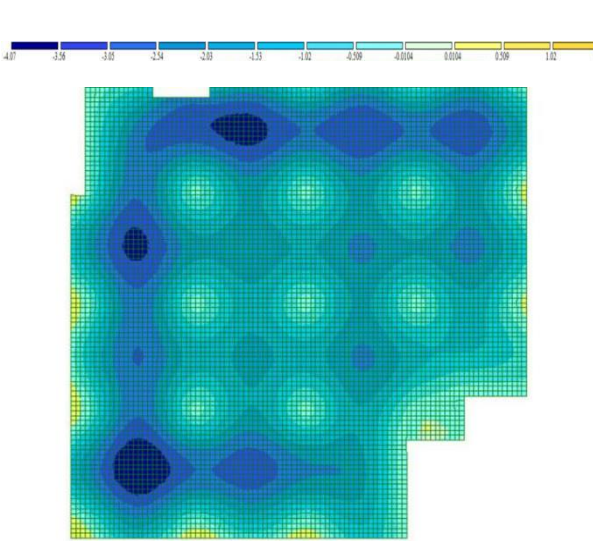
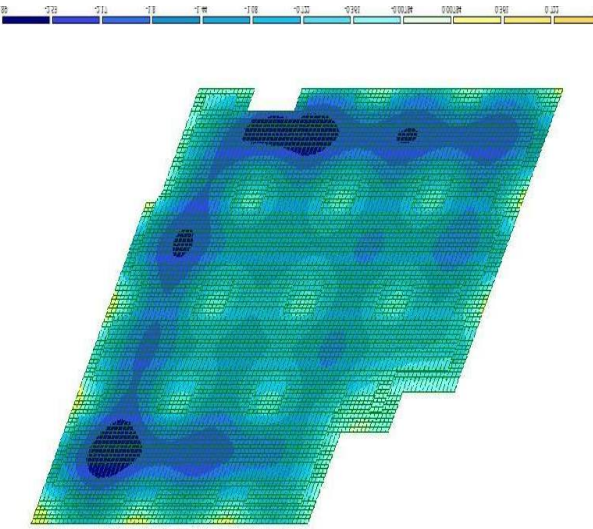
д) полезная нагрузка на перекрытия типовых этажей, для офисных помещений нормативное значение равно 1,95 кН/м². Элементы конструкции моделировались пластинами.

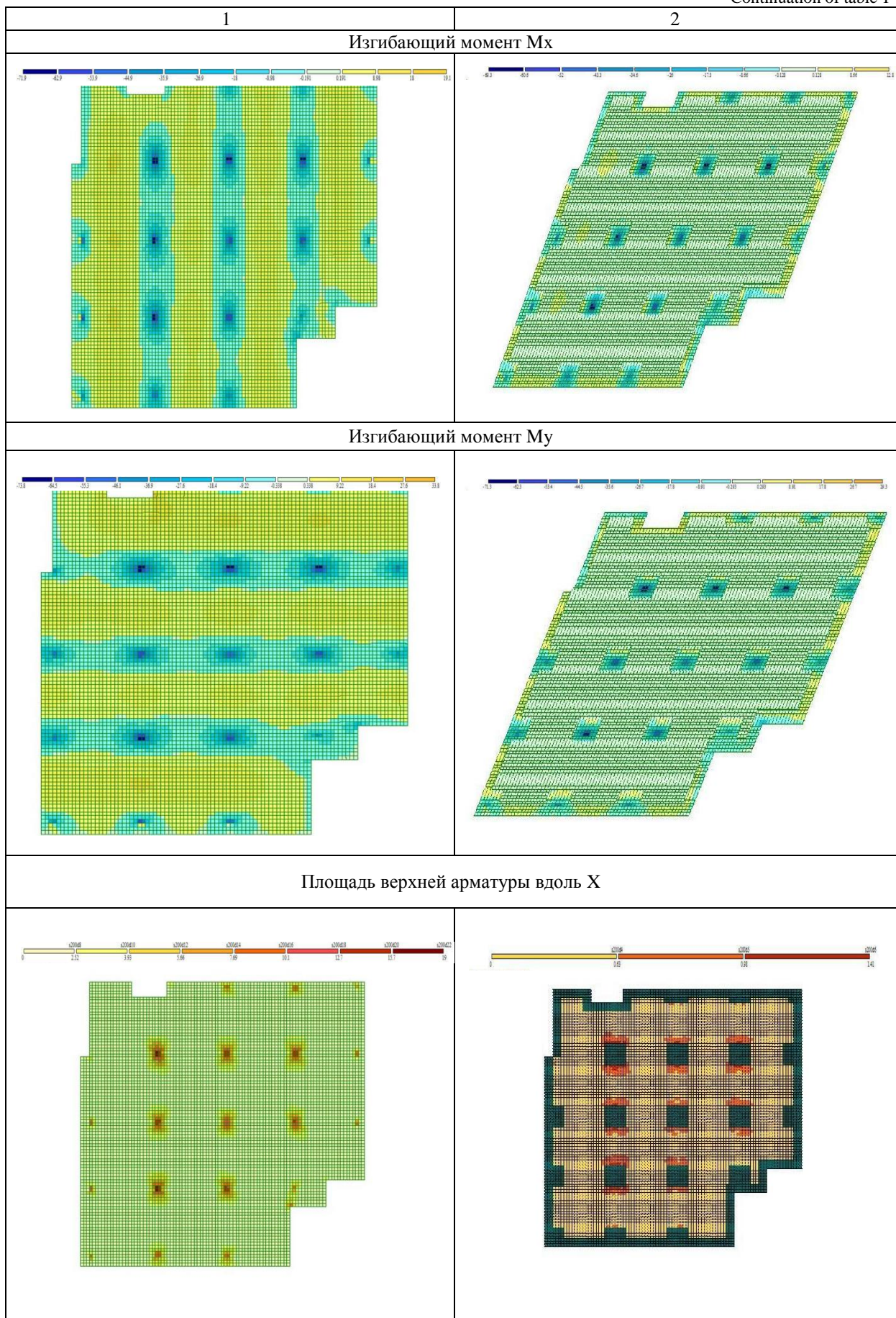
Исходные данные для расчётов и проектирования инновационной плиты с пустотообразователями: верхняя плита толщиной $\delta = 30$ мм, класс бетона В25, $E_b = 3 \cdot 10^7$ кН/м². Ребро шириной $\delta = 50$ мм, класс бетона В25, $E_b = 3 \cdot 10^7$ кН/м². Нижняя плита $\delta = 40$ мм, класс бетона В25, $E_b = 3 \cdot 10^7$ кН/м². Опорные элементы толщиной $\delta = 220$ мм, класс бетона В25, $E_b = 3 \cdot 10^7$ кН/м². Нагрузки на 1м² плиты принимались такие же, как и для сплошной плиты перекрытия.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

Расчётные схемы, усилия, перемещения и требуемое армирование по перечисленным вариантам моделирования действительной работы плит сведены и представлены в табличной форме (табл. 1), а сводка затрат материалов и их стоимость - в табл. 2.

Таблица 1. Сравнительные характеристики компьютерных моделей и результаты расчётов для рационального проектирования рассмотренных вариантов конструкций междуэтажного перекрытия
Table 1. Comparative characteristics of computer models and the results of calculations for the rational design of the considered variants of interfloor structures

Сплошная монолитная железобетонная плита (базовый вариант)	Предлагаемая плита с пластиковыми вкладышами оригинальной конструкции
1	2
Изометрические модели перекрытий	
	
Деформированные схемы перекрытий	
	
Изополюса перемещений по вертикальной оси Z, мм	
 <p data-bbox="260 1861 783 1928">Максимальный прогиб плиты $f_{max} = 4,07$ мм. Предельный прогиб плиты: $f_u = 25$ мм</p>	 <p data-bbox="919 1839 1445 1895">Максимальный прогиб плиты $f_{max} = 2,89$ мм. Предельный прогиб плиты: $f_u = 25$ мм</p>



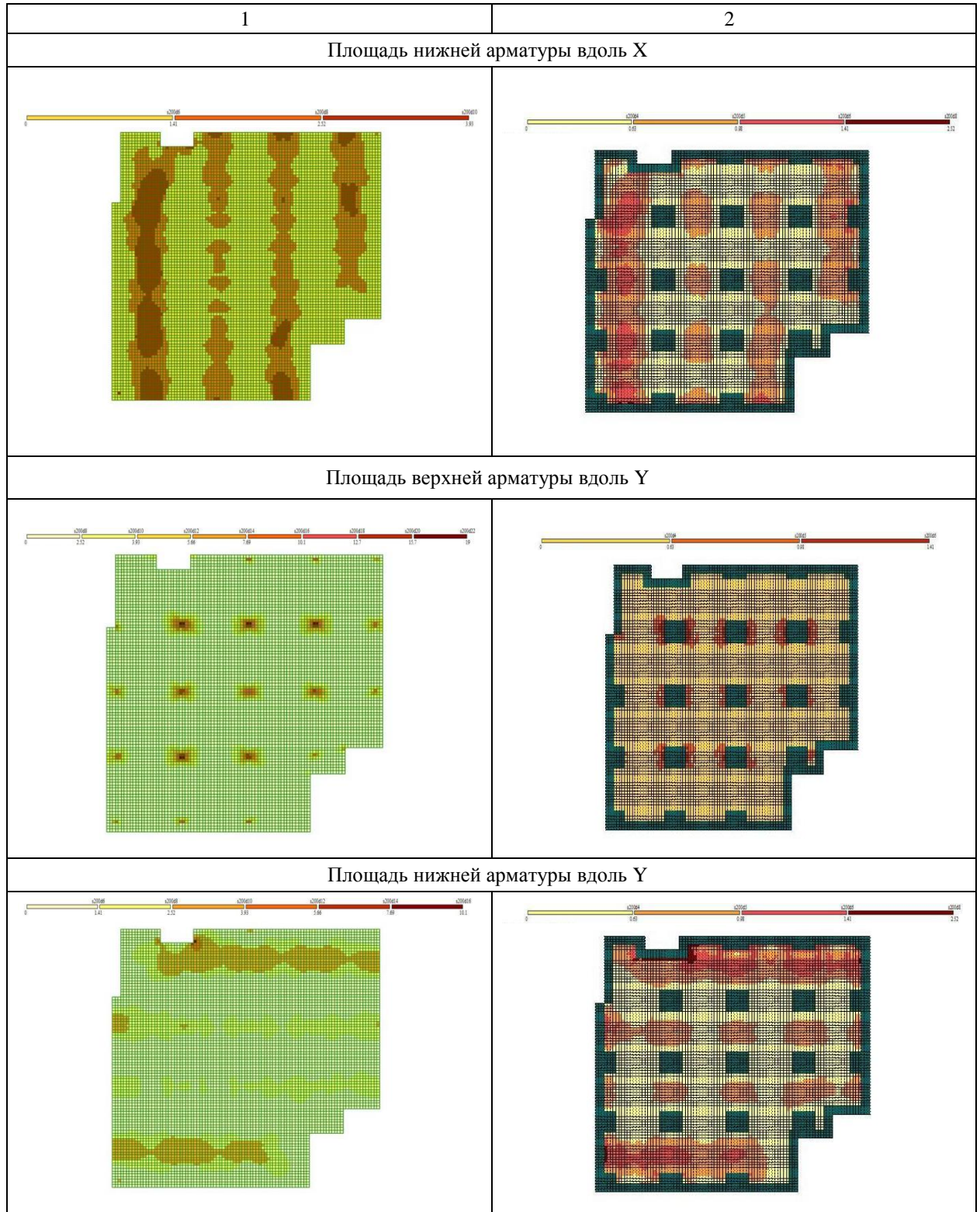


Таблица 2. Сравнение расхода материалов и их стоимости по результатам моделирования работы рассмотренных конструкций перекрытия

Table 2. Comparison of the consumption of materials and their cost according to the results of modeling the work of the considered floor structures

Арматура А500, п. м, тонн				Стоимость, руб.	Бетон В25, м ³	Пласт масса, руб.	Стоимость, тыс. руб.
Сплошная монолитная железобетонная плита (базовый вариант)							
Верхняя сетка	Ø-12	4464	3,96	154231,2	99,2	-	496,000
Нижняя сетка	Ø-12	4464	3,96	154231,2			
Усиление	Ø-22	684	2,04	79624,44			
Итого	-	9612	9,96	388086,84	99,2	-	496,000
Всего на перекрытие							884,09
Инновационная плита с пластиковыми вкладышами оригинальной конструкции							
Верхняя сетка	Ø-8	8227	3,25	115178	76,9	123405	384,500
Нижняя сетка	Ø-10	4464	2,75	89235,36			
Усиление	Ø-18	684	1,37	52941,6			
Итого	-	13375	7,37	257354,96	76,9	123405	384,500
Всего на перекрытие							765,26

Анализ потребности в материалах по рассмотренным вариантам конструкции показал существенное снижение расхода материалов в предложенной конструкции по сравнению со сплошной плитой, а именно: арматуры - на 26%, бетона - на 22,5%, что в стоимостном выражении составляет 13,4%. Следовательно, наши результаты не выходят за разумные пределы, обозначенные зарубежными и отечественными специалистами, а предложенная технология может быть рекомендована для дальнейшей разработки и последующего внедрения в практику многоэтажного гражданского строительства Российской Федерации.

ВЫВОДЫ

1. Предложенные отечественные инновационные конструктивно-технологические системы междуэтажных железобетонных перекрытий дают экономический эффект в виде экономии стали и железобетона и могут быть рекомендованы для внедрения в практику гражданского строительства.
2. Использование вкладышей из переработанных отходов пластмассы позволит также утилизировать их без нанесения ущерба окружающей среде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пушкарёв, Б.А., Кореньков, П.А. Сборно-монолитные железобетонные конструкции, сферы применения и особенности расчёта // Строительство и техногенная безопасность. – 2013. – № 46. – С.30-35.
2. Шаленный, В.Т. Сборно-монолитное домостроение: учебник /В.Т. Шаленный, О.Л. Балакчина. – Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2018. – 178с.
3. Николаев, С.В. Панельные и каркасные здания нового поколения //Жилищное строительство, - 2013, - №8, - С.2-9.
4. Теплова, Ж.С., Виноградова, Н.А. Сборно-монолитные перекрытия системы «МАРКО» //Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – №8(35). – С.48-59.
5. Шмелев, Г. Д. Сравнительный анализ современных систем возведения зданий гражданского назначения /Г. Д. Шмелев, Н. А. Фоменко, В. Н. Гаврилова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2018. – № 3(6). – С. 9-19.
6. Недвига, Е.С., Виноградова, Н.А. Системы сборно-монолитных перекрытий //Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. - №4(43). - С.87-102.
7. Брюсов, В.А., Панфилов, А.В. Междуэтажные перекрытия в каменных домах //Строительные материалы, оборудование и

технологии XXI века. - 2018. - №11-12(238-239). - С.20-23.

8. Leonenko, K., Shalenny, V. (2020) Justification of Energy-Saving Technology of Prefabricated Monolithic Slabs of Limestone Blocks. In: Murgul V., Pasetti M. (eds) International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies. EMMFT-2018 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 982. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-19756-8_74.

9. Леоненко, К., Шаленный, В. Разработка технологии устройства сборно-монолитных железобетонных перекрытий из крымского ракушечника на основе оценки тяжести труда рабочих-строителей //Строительство и техногенная безопасность. - 2019. - №14(66). - С.35-43.

10. Bubbledeck Two-Way Hollow Deck <http://www.bubbledeck-uk.com/pdf/bdoverview9-03.pdf>.

11. Bubble Deck Technology Uses Less Concrete by Filing The Slab With Beach Balls <https://www.treehugger.com/green-architecture/bubble-deck-technology-uses-less-concrete-filing-slab-beach-balls.html>.

12. Sameer Ali, Manoj Kumar. Analytical Study of Conventional Slab and Bubble Deck Slab under Various Support and Loading Conditions Using Ansysworkbench 14.0 //International Research Journal of Engineering and Technology. Volume: 04 Issue: 05. (2017). - p.1467-1472.

13. Afanasyev, G Replacement of floor structures in capital repair with the use of not extractable void formers /E3S Web of Conferences 97, 06045 (2019) and Serafima Selviyan [Perfohttps://doi.org/10.1051/e3sconf/20199706045](https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199706045).

14. Павлов, В. В. Конструкции перекрытий реконструируемых зданий //Вестник гражданских инженеров. 2019. № 1 (72). - С. 38–42.

15. Буцкая, Е.Л., Зезюков, Д.М., Махинько, Н.Н., Зинкевич, О.Г. Обоснование оптимального вида пустотообразователя в монолитном плоском перекрытии //Вестник Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. - 2019. - №3. - С.10-18.

16. Chunyuk, D. Selviyan, A. Selviyan, S. Performance evaluation of the effectiveness of the use of core drivers in the construction of base plates /E3S Web of Conferences 97, 06029 (2019). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199706029>.

17. Пат. № 185868 U1, Российская Федерация, МПК E04B5/02, МПК E04B1/98 (2006.01). Конструкция монолитного перекрытия /В. Т. Шаленный, О.Л. Балакчина, А.А. Смирнов. — заявка № 2017 147103. – Заявл. 29.12.2017; опубл. 20.12.2018, Бюл. №35.

18. Смирнов, А.А., Балакчина, О.Л. Разработка технологии бетонирования перекрытий с пластиковыми вкладышами оригинальных форм и расположения /А.А. Смирнов, О.Л. Балакчина //Сборник тезисов участников Международного студенческого строительного форума-2018 «Инновационное развитие строительства и

архитектуры: взгляд в будущее». Симферополь, 14-16 ноября 2018г. — Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2018. — С. 127–130.

REFERENCES

1. Pushkariov, B.A., Korenkov, P.A. Prefabricated monolithic reinforced concrete structures, spheres of application and features of calculation // Construction and technogenic safety. – 2013. – № 46. – p. 30-35.

2. Shalenny, V.T. Prefabricated monolithic house building: textbook /V.T. Shalenny, O.L. Balakchina. – Saratov: IPR Media, 2018. – p.178.

3. Nikolaev, S.V. Panel and Frame Buildings of a New Generation //Housing Construction, 2013. № 8. pp. 2–9.

4. Teplova, Zh.S., Vinogradova, N.A. Prefabricated monolithic slabs of the 'MARKO' system // Construction of unique buildings and structures. – 2015. – №8(35). – pp. 48-59.

5. Shmelev, G. D. Comparative analysis of modern systems of civil buildings construction /G. D. Shmelev, N. A. Fomenko, V. N. Gavrilova // Housing and communal infrastructure. – 2018. – № 3(6). – pp. 9-19

6. Nedviga, E.S., Vinogradova, N.A. Systems of prefabricated monolithic slabs // Construction of unique buildings and structures. 2016. – №4(43). – p. 87-102.

7. Bryusov, V.A., Panfilov, A.V. Floor slabs in stone houses //Building materials, equipment and technology of the XXI century. - 2018. - №11-12(238-239). - P. 20-23.

8. Kirill Leonenko, Vasiliy Shalenny. Justification of energy-saving technology of prefabricated monolithic slabs of limestone blocks //Advances in Intelligent Systems and Computing, Springer, Vol.982, /International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies: EMMFT-2018, pp.778-786.

9. Leonenko, K., Shalenny, V. Development of technology of precast-monolithic reinforced concrete floors from the Crimean limestone on the basis of the assessment of the severity of labor of construction workers //Construction and technogenic safety. – 2019. – №14(66). – p.35-43.

10. Bubbledeck Two-Way Hollow Deck <http://www.bubbledeck-uk.com/pdf/bdoverview9-03.pdf>.

11. Bubble Deck Technology Uses Less Concrete by Filing The Slab With Beach Balls <https://www.treehugger.com/green-architecture/bubble-deck-technology-uses-less-concrete-filing-slab-beach-balls.html>.

12. Sameer Ali, Manoj Kumar. Analytical Study of Conventional Slab and Bubble Deck Slab under Various Support and Loading Conditions Using Ansysworkbench 14.0 //International Research Journal of Engineering and Technology. Volume: 04 Issue: 05. (2017). - p.1467-1472.

13. Afanasyev, G Replacement of floor structures in capital repair with the use of not extractable void

formers /E3S Web of Conferences 97, 06045 (2019) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199706045>.

14. Pavlov, V. V. Floor structure design of reconstructed buildings. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers, 2019, no. 1 (72), pp. 38–42.

15. Butska, O.L., Zeziukov, D.M, Makhinko, M.M., Zinkevych, O.H. Substantiation of optimal type of a blockout in a monolithic flat slab //Bulletin of Pridneprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture. - 2019. - №3. - p.10-18.

16. Chunyuk, D. Selviyan, A. Selviyan, S. Performance evaluation of the effectiveness of the use of core drivers in the construction of base plates /E3S

Web of Conferences 97, 06029 (2019). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199706029>.

17. Pat. No. 185868 U1, Russian Federation, IPC E 04 B 5/02, IPC E04B1/98 (2006.01). Design monolithic slab /V. T. Shalenny, O. L. Balakshina, A. A. Smirnov. — application No. 2017147103. — Declared. 29.12.2017; publ. 20.12.2018, Byul. No. 35.

18. Smirnov, A. A., Balakina, O. L. Development of technology of slabs with plastic liners original forms and locations /A. A. Smirnov, O. L. Balakina //The Collection of theses of participants of the International student construction forum-2018 "Innovative development of construction and architecture: looking to the future". Simferopol, November 14-16, 2018. — Simferopol: it "ARIAL", 2018. — P. 127-130.

IMPROVED CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL SYSTEM OF CLOSES WITH PLASTIC INSERTS PARTLY REPLACE MONOILED CONCRETE

Summary. The article describes the well-known and promising constructive-technological systems for the installation of monolithic reinforced concrete floors of civilian buildings. The examples and the expediency of using all sorts of liners made of plastic and other lighter materials and products for the replacement of part of heavy solid concrete are shown. The improved designs of such overlappings and the results of evaluating the effectiveness of innovative proposals are presented.

Subject of research: comparative technical and economic efficiency of the developed structural and technological solutions of flat reinforced concrete floors with plastic liners, replacing heavy monolithic reinforced concrete.

Materials and methods: description, analysis and generalization of the state of the question, the synthesis of new constructive-technological solutions of floors and their comparison with existing analogues, computer modeling of their work and costs, followed by analysis and presentation of the research results.

Results: the expediency and comparative efficiency of replacing concrete with plastic liners of the proposed form at the representative facility was established, which consisted in reducing the consumption of concrete by 22.5%, reinforcing steel - by 26% and cost price - by 13.4% compared to using solid flat monolithic reinforced concrete floor of the same area.

Conclusions: a domestic innovative constructive-technological system of interfloor reinforced concrete flooring was proposed, giving a positive effect in the form of economy of steel and reinforced concrete, it can be recommended for introduction into the practice of multi-storey civil engineering; The use of recycled plastic waste inserts will also allow you to recycle them without harming the environment.

Key words: resource saving; replacing heavy concrete with plastic liners; prefabricated monolithic floors.

УДК 69. 699.8

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЛЕТА ВИСЯЧЕГО МОСТА

Чемодуров В.Т., Маслак А.С., Кузьменко О.А.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение), ФГАОУ ВО КФУ им. В.И.Вернадского,
295943, г. Симферополь, ул. Киевская, 181, e-mail:chens_mu1@mail.ru, acm2@mail.ru, olya.kuzy@mail.ru

Аннотация: Как известно, висячие мосты по своей общей массе значительно легче мостов других конструкций. В этом заключается несомненное их положительное качество. Не случайно, мосты данного типа получили широкое распространение на практике. Однако, наряду с неоспоримыми преимуществами, данный тип мостов достаточно чувствителен к ветровым нагрузкам, которые являются генератором изгибных и крутильных колебаний пролетов при определенных скоростях поперечного воздушного потока. Если лобовое сопротивление моста при поперечном воздушном потоке легко уменьшить за счет проектирования обтекаемых поверхностей, то обеспечение устойчивости поверхности пролета моста на изгибные и крутильные можно обеспечить лишь надлежащим образом выбора профиля его поперечного сечения, обеспечивающего нужный момент инерции, как необходимых компонентов его жесткости.

Ключевые слова: пролет, висячий мост, момент инерции, площадь

ВВЕДЕНИЕ

История хранит память о десятках катастроф, постигших висячие мосты в XIX и XX веках. Наиболее часто в литературе упоминается разрушение кабельного моста на шоссе Такома - Вашингтон (США), произошедшего в 1940 году при скорости ветра всего 18,7 м/с.

Ветровое воздействие на многие сооружения, особенно высокие и протяженные, весьма существенно. Для таких строительных объектов, как гибкие мостовые конструкции, ветровая нагрузка может иметь решающее значение в формировании картины напряженно-деформированного состояния. Для конструкций мостов эта проблема является более актуальной, чем для любых других строительных конструкций, поскольку пролётные строения, как правило, плохообтекаемы и требуют более ответственного подхода к вопросам безопасности. Немаловажным фактом является и то,

что колебания висячих мостов под воздействием ветра побудили инженеров рассматривать пути решения этой задачи.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящее время нормативные документы расчета аэродинамических явлений висячих мостов не в полной мере удовлетворяют требованиям безопасности при строительстве и эксплуатации сооружений. В данной статье предлагается следующий подход к проектированию конструкции пролета моста, состоящий из двух этапов.

На первом этапе изучается поведение плоской пластины в потоке воздуха, которая имеет размеры в плане, соответствующие фрагменту пролета между местами крепления вант, шарнирно закрепленная по двум противоположным сторонам (рис.1). Толщина пластины определяется путем расчета устойчивости данной пластины на предельный ветер, который может возникнуть в районе сооружения реального моста.

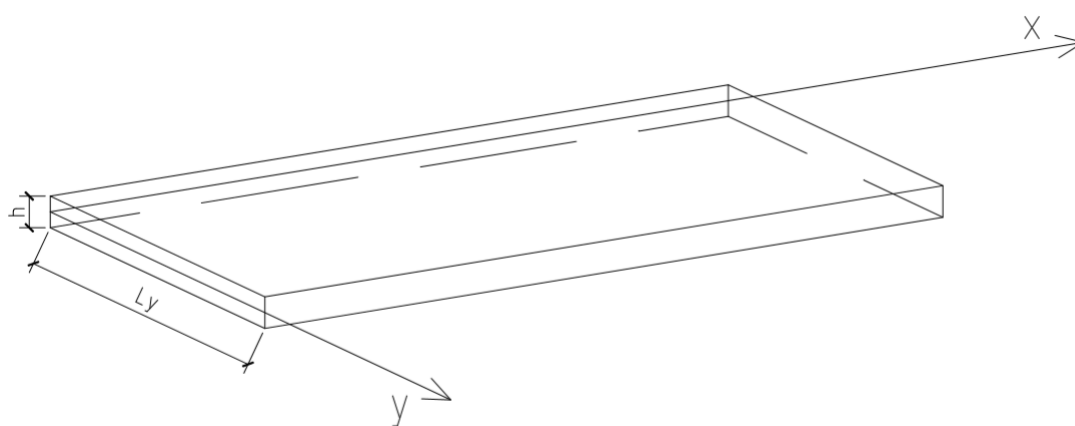


Рис. 1. Модель пролета висячего моста: L_x – расстояние между точками крепления вант; L_y – ширина балки жесткости; h – высота балки жесткости.

Fig. 1. Suspension bridge span model: L_x – distance between cable tie points; L_y – width of the stiffener beam; h is the height of the stiffener.

Данные предварительные исследования позволяют определить предельное значение изгибного момента инерции J_y будущего моста

$$J_{nл} = \frac{L_y h^3}{12} \quad (1)$$

и его предварительную массу

$$m_{nл} = \rho L_x L_y h \quad (2)$$

где ρ - приведенная плотность.

Полученное теоретическое значение изгибного момента инерции является отправной точкой для обоснования поперечного сечения пролета висячего моста, состоящего из набора отдельных элементов его будущей конструкции.

Второй этап проектирования пролета висячего моста непосредственно связан с определением архитектуры поперечного сечения, которое обеспечит теоретический (предельный) момент инерции.

Такой двух этапный подход к проектированию пролета висячего моста, наряду с заданной устойчивостью, может обеспечить дополнительное снижение массы конструкции, по сравнению с массой пластины.

Рассмотрим следующий пример. Пусть поперечное сечение моста имеет вид, показанный на рис.2.

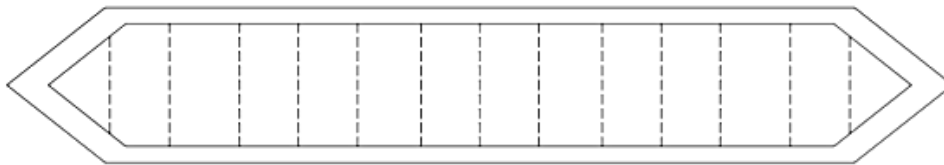


Рис. 2. Поперечное сечение моста

Fig. 2. Cross section of the bridge

На нем показаны два полотна: верхнее представляет собой проезжую часть; нижнее полотно обеспечивает плавное обтекание полотном воздуха при минимальном лобовом сопротивлении. Между ними должен располагаться набор элементов в виде продольных коробов, двутавров, либо набор элементов ферменного типа. В любом

случае данная конструкция должна обеспечить требуемую величину момента инерции.

Приведем пример набора в виде двутавров (рис.3).

В данном примере двутавр не относится к перечню сортамента двутавров, а его размеры произвольны

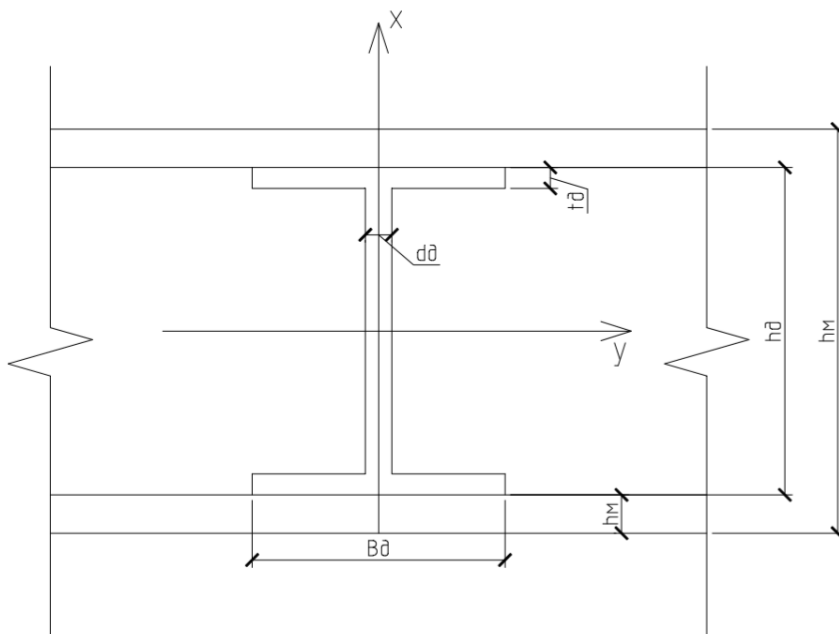


Рис. 3. Узел проезжей части висячего моста

Fig. 3. The node of the carriageway of the suspension bridge

В этом случае моменты инерции конструкции состоит из моментов инерции верхнего и нижнего полотен, а также из моментов инерции всего набора

двутавров относительно оси «у». Для простоты задачи зададим одинаковую толщину верхнего и нижнего полотна. Тогда их общий момент инерции

$$J_n = 2 \left[\frac{L_y h_n^3}{12} + L_y h_n \left(\frac{h_m}{2} - \frac{h_n}{2} \right)^2 \right] \quad (3)$$

Для данного двутавра выражение для момента инерции имеет вид

$$J_{o1} = \frac{d_o (h_o - 2t_o)^3}{12} + 2 \left[\frac{b_o t_o^3}{12} + b_o t_o \left(\frac{h_o}{2} - \frac{t_o}{2} \right)^2 \right] \quad (4)$$

Общий момент инерции сечения будет иметь вид

$$J_\Sigma = J_n + nJ_{o1} \quad (5)$$

где n – количество двутавров в наборе.

Общая площадь поперечного сечения пролета моста определится по формуле

$$A_\Sigma = A_n + nA_{o1} \quad (6)$$

Здесь

$A = 2L_y h_n$ - площадь поперечного сечения двух плоскостей;

$A_{o1} = 2b_o t_o + d_o (h_o - 2t_o)$ - площадь поперечного сечения одного двутавра.

Для нахождения конкретных размеров наборного пролета висячего моста ставится задача оптимизации, которая заключается в минимизации целевой площади поперечного сечения пролета (или его массы)

$$f^0(x) = A_\Sigma \rightarrow \min \quad (7)$$

При ограничении момент инерции наборного сечения пролета должен быть не меньше требуемого

$$f^1(x) = J_\Sigma \leq J_{.нл} \quad (8)$$

при этом число варьируемых переменных равно семи: $h_m, h_n, b_o, t_o, h_o, n$.

Число варьируемых переменных целесообразно сократить, используя статистические данные по изготовлению двутавров специального назначения. При этом выявлены следующие значения ряда геометрических размеров в зависимости от высоты двутавра

$$b_o = 0,32h_o; \quad d_o = t_o = 0,02h_o; \quad (9)$$

Таким образом, число варьируемых переменных сократиться до четырёх: h_m, h_n, h_o, n .

Далее используем зависимость $h_m = h_o + 2h_n$.

В этом случае останется всего три независимых варьируемых параметра: h_n, h_o, n .

Теперь преобразуем зависимости (3) – (6) с учетом принятых допущений

$$J_n = 2 \left[\frac{L_y h_n^3}{12} + L_y h_n \left(\frac{h_o}{2} + \frac{h_n}{2} \right)^2 \right] \quad (10)$$

$$J_{o1} = 0,00454 h_o^4 \quad (11)$$

$$A_n = 2L_y h_n \quad (12)$$

ВЫВОДЫ

Предложенный метод проектирования пролетов висячих мостов, основанных на предварительном определении их жесткости, приводится впервые. Форма поперечного сечения наборного пролета выбирается произвольно. Однако, решающим фактором ее выбора является решение задачи оптимизации с целью уменьшения массы моста в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чемодуров В.Т., Литвинова Э.В., Сеитжелилов М.С. Численные методы: монография. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2017. – 196с.
2. Чемодуров В.Т., Жигна В.В. Методы теории планирования эксперимента в решении технических задач: монография. – Симферополь, 2012. -112с
3. Погорелов В.И. Строительная механика тонкостенных конструкций: Уч. пособие для студентов высших учебных заведений. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 528с.
4. Дмитриев Ю.В., Дороган А.С. « Аналитические методы расчета висячих и вантовых мостов» // Уч. пособие// Хабаровск «ДВГУПС», 2008 – 196 с.
5. Безухов Н.И., Лужин О.В., Колкунов Н.В. Устойчивость и динамика сооружений в примерах и задачах: Уч. пособие для строит. спец. вузов. – 3-е изд., перераб.- М.: Высшая школа, 1987. – 264с
6. Погорелов В.И. Строительная механика тонкостенных конструкций: Уч. пособие для студентов высших учебных заведений. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 528с.

REFERENCES

1. Chemodurov V.T., Litvinova E.V., Seitzhelilov M.S. Numerical methods: monograph. - Simferopol: IT "ARIAL", 2017. - 196 p.
2. Chemodurov V.T., Zhigna V.V. Methods of the theory of experimental design in solving technical problems: monograph. - Simferopol, 2012.112s
3. Pogorelov V.I. Structural mechanics of thin-walled structures: Uch. manual for students of higher educational institutions. - Spb. : BHV-Petersburg, 2007. -- 528s.
4. Dmitriev Yu.V., Dorogan A.S. "Analytical methods for calculating suspension and cable-stayed bridges" // Uch. allowance // Khabarovsk DVGUPS,

2008 - 196 p.

5. Bezukhov N.I., Luzhin O.V., Kolkunov N.V. Stability and dynamics of structures in examples and tasks: Uch. allowance for building. universities. - 3rd ed., Revised .-M.: HigherSchool, 1987. - 264s

6. Pogorelov V.I. Structural mechanics of thin-walled structures: Uch. manual for students of higher educational institutions. - SPb .: BHV-Petersburg, 2007 .-- 528s.

OPTIMIZATION OF THE PARAMETERS OF THE FLIGHT OF THE HANGING BRIDGE

Chemodurov V.T., Maslak A.S., Kuzmenko O.A.

Summary: As you know, suspension bridges in their total mass are much lighter than bridges of other structures. This is their undoubted positive quality. It is no coincidence that bridges of this type are widely used in practice. However, along with the undeniable advantages, this type of bridge is quite sensitive to wind loads, which are the generator of bending and torsional vibrations of flights at certain speeds of the transverse air flow. If the frontal resistance of the bridge during transverse air flow is easily reduced by designing streamlined surfaces, then ensuring the stability of the surface of the bridge span on bending and torsion can only be ensured by properly selecting the profile of its cross section, providing the desired moment of inertia, as the necessary components of its rigidity.

Key words: span, suspension bridge, moment of inertia, area

ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВАЙНЫХ ЗАКРЕПЛЕНИЙ МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ В УСЛОВИЯХ СЛАБЫХ ГРУНТОВ

Чемодуров В.Т., Ажермачев С.Г., Пшеничная-Ажермачёва К.С.

^{1,2,3}Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Академия строительства и архитектуры

г. Симферополь, ул. Киевская 181,

e-mail: ¹chens_mu1@mail.ru, ²sga.simf@gmail.com, ³xenia_a@rambler.ru

Аннотация Рассматриваются варианты составления расчетных моделей свайных закрепления морских стационарных платформ. Показаны подходы к формированию расчетной модели с учетом работы сооружения в условиях слабых грунтов. Корректировка расчетных моделей позволяет выявить дополнительные силовые факторы, которые могли быть неучтены при формальном подходе к составлению расчетных схем.

Ключевые слова: свая, морская платформа, расчетная схема, расчетная модель, слабые грунты

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании морских стационарных платформ (МСП) и способов их закрепления к донным грунтам сваями предполагается, что сооружение плотно опирается на грунт, а сваи, в основном, работают на продольные усилия. Однако опыт эксплуатации демонстрирует, что подобная расчетная модель не всегда отвечает реальному состоянию сооружения.

При возведении МСП на структурно неустойчивых, обводненных грунтах (в частности, глинистых, илистых, которые характерны для Азово-Черноморского шельфа) может иметь место размыв грунтового массива у основания сооружения и оголения оголовков свай. В этом случае расчетная модель свай существенно изменяется, и возрастает риск потери сооружением устойчивости, затруднения технологических процессов. Возникает необходимость корректировки расчетной схемы сооружения в соответствии с изменением реальных отметок жестких закреплений свай.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Ни в нормативных документах, ни в специальной технической литературе нет указаний и рабочих методик расчета свай для работы в подобных экстремальных условиях. Расчет сооружений по существующим методикам не всегда учитывает особенности работы обводненных грунтов и формирования размыва под опорными ростверками во время эксплуатации. Изначально

принятые расчетные схемы перестают соответствовать реальной расчетной модели сооружения, и дальнейшая эксплуатация может привести к аварийным ситуациям.

Оголение верхней части свай чаще всего наблюдается в результате размыва грунта при воздействии морских течений, штормовых волн. Не последнюю роль здесь играют состояние и механические характеристики верхних слоев грунтов.

Для начального проявления размыва необходимо наличие препятствия на пути потока жидкости. При обтекании препятствия по боковым сторонам скорость потока возрастает и возникает возможность переноса верхних фракций грунта. Сила воздействия морских волн на сооружение зависит от многих факторов, таких, как характер волнения, топография дна, глубина моря, состояние поверхности обтекаемого тела и т.п.

Если опорная часть сооружения не является «прозрачной» для волн и течений, а представляет собой массивную конструкцию, то волна, приближаясь, не может обойти опору, а поднимается на ее фронтальную поверхность. Затем волна отклоняется в обратную сторону, и объем воды обрушивается вниз к основанию опоры, создавая гидравлический удар по грунту. В результате частицы грунта расходятся в стороны, устремляясь вдоль боковых граней по направлению движения волн. Происходит формирование ямы размыва у основания сооружения, приводящее к оголению верхней части свай.

В Азовском море при скорости штормового ветра 40 м/с величина транспорта донного материала

может достигать 11 м³/сут, в Черном море – 16-18 м³/сут. [3]

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящей работе ставится цель обосновать подход к формированию расчетных моделей сооружений в условиях слабых грунтов и при учете возможного размыва.

Оголение свай заметно изменяет расчетную модель сооружения при действии штормовых волн, при сейсмических проявлениях и ледовых

воздействиях. Изменяются динамические характеристики сооружения, увеличивается влияние вертикальных нагрузок на сваи, особенно при горизонтальном перемещении их оголовков (возникают дополнительные изгибающие моменты от вертикальных нагрузок).

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Расчетную модель работы свайного основания при подвижке льда можно представить в следующем виде (рис.1):

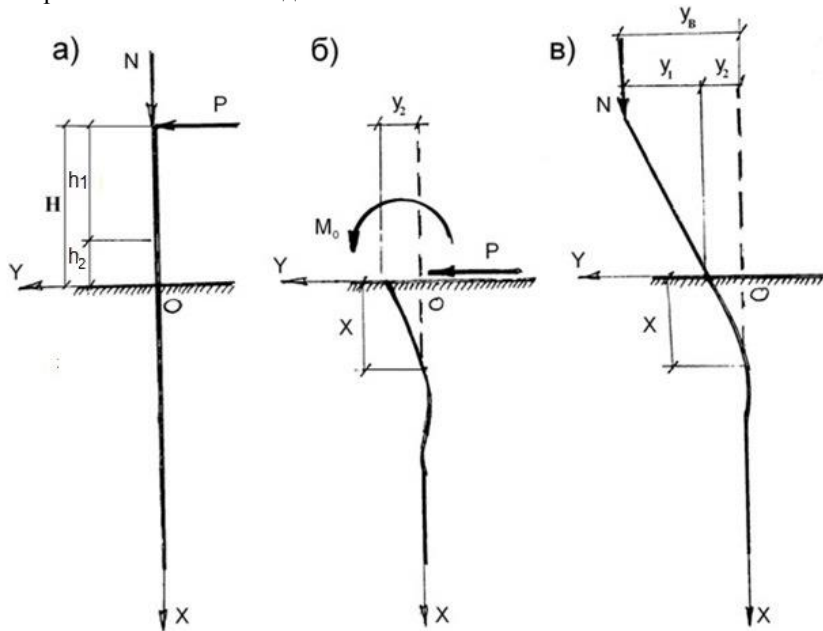


Рис. 1. Расчетная модель работы сваи при воздействии продольных и поперечных нагрузок: а) расчетная модель свайного закрепления на момент монтажа; б) изменение вида расчетной модели при эксплуатации сооружения в условиях размыва грунта; в) определение горизонтальных перемещений оголовка сваи

Fig. 1. The design model of the pile when exposed to longitudinal and transverse loads: a) the design model of pile fastening at the time of installation; b) a change in the type of calculation model during the operation of the structure in conditions of erosion of the soil; c) determination of horizontal movements of the pile head

В экстремальных условиях сваи, закрепляющие опору к основанию, работают на восприятие продольной силы от веса сооружения N, на восприятие поперечной силы при подвижке льда P, на восприятие изгибающего момента от поперечной силы M₀ и на восприятие дополнительного изгибающего момента от продольной силы при горизонтальном перемещении верха свай M_N.

Расчетную схему свай, закрепляющих сооружение к морскому дну, можно представить в виде балки на упругом основании под действием поперечных и продольных нагрузок (рис. 1).

Для определения дополнительного момента, возникающего в свае при горизонтальном перемещении ее верхней части от вертикальной нагрузки, необходимо определить это перемещение.

Уравнение расчета балок на упругом основании записывается в следующей форме:

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = q, \quad (1)$$

где EI – изгибная жесткость балки, q – силовой фактор, зависящий от свойств грунта (для нашего случая q = -ky, где k – отпорность грунта).

Соответственно, уравнение (1) можно представить иначе:

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = -ky. \quad (2)$$

Знак «-» возникает, т.к. q и y направлены в разные стороны.

Общее решение уравнения (2) имеет вид:

$$y = e^{\beta x}(A \cos \beta x + B \sin \beta x) + e^{-\beta x}(C \cos \beta x + D \sin \beta x) \quad (3)$$

Здесь

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}},$$

где $k = dk_1$,

d — диаметр сваи;

k_1 — характеристика жесткости грунта (определяется экспериментально или принимается по нормативным документам);

EI — изгибная жесткость сваи.

Постоянные A, B, C, D определяются из граничных условий. При увеличении x , y стремится к нулю, т.е. $x \rightarrow \infty, y \rightarrow 0$, поэтому первое слагаемое в формуле (2) обращается в ноль. Тогда $A=B=0$.

Запись общего решения уравнения в этом случае преобразуется к следующей форме:

$$y = e^{-\beta x}(C \cos \beta x + D \sin \beta x) \quad (4)$$

Для определения постоянных C и D возьмем вторую и третью производные от (4). В дальнейшем, приравняв выражения производных к M_0 и P соответственно, получаем линейные уравнения, содержащие постоянные C и D .

$$\begin{cases} EI \frac{d^2}{dx^2} [e^{-\beta x}(C \cos \beta x + D \sin \beta x)] = -M_0 \\ EI \frac{d^3}{dx^3} [e^{-\beta x}(C \cos \beta x + D \sin \beta x)] = P \end{cases} \quad (5)$$

Здесь $M_0 = P \cdot H$,

P — горизонтальная сила при ледовых воздействиях;

H — ордината приложения горизонтальной силы P .

В ходе решения системы уравнений (5), получаем:

$$C = \frac{1}{2\beta^3 EI} (P - \beta M_0) \quad \text{и} \quad D = \frac{M_0}{2\beta^2 EI} \quad (6)$$

Подставляем значения C и D из (6) в (4). Получим выражение для прогибов сваи в зависимости от координаты x .

$$y = \frac{e^{-\beta x}}{2\beta^3 EI} [P \cos \beta x - \beta M_0 (\cos \beta x - \sin \beta x)] \quad (7)$$

Если M_0 и P изгибают сваю в одном направлении, то M_0 необходимо брать со знаком минус, если же в разных направлениях — то со знаком плюс.

Наибольшим прогиб будет при $x=0$ (рис. 1б):

$$y_{x=0} = \frac{P - \beta M_0}{2\beta^3 EI} \quad (8)$$

Определим координату x , когда прогиб y первый раз обращается в ноль. Для этого выражение (7) следует приравнять к нулю. Преобразовав, получаем выражение вида:

$$x = \frac{1}{\beta} \arctg \left(\frac{\beta M_0 - P}{\beta M_0} \right) \quad (9)$$

Уравнение для углов поворота верхней части сваи можно получить, продифференцировав выражение (7). Оно имеет следующий вид:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{2\beta^3 e^{-\beta x}}{k} [M_0 (\cos \beta x + \sin \beta x) + M_0 (\cos \beta x - \sin \beta x) - \frac{P}{\beta} (\cos \beta x + \sin \beta x)] \quad (10)$$

Для определения горизонтального перемещения верха сваи определим угол наклона касательной к искривленной оси сваи в точке $x=0$:

$$\frac{dy}{dx}_{x=0} = \frac{2\beta^3}{k} \left(2M_0 - \frac{P}{\beta} \right) \quad (11)$$

Горизонтальное перемещение верхнего конца сваи при этом (рис. 1в):

$$y_1 = H \operatorname{tg} \left[\frac{2\beta^3}{k} \left(2M_0 - \frac{P}{\beta} \right) \right] \quad (12)$$

Общее горизонтальное перемещение верха конца сваи с учетом (8):

$$y_b = y_1 + y_2,$$

или

$$y_b = H \operatorname{tg} \left[\frac{2\beta^3}{k} \left(2M_0 - \frac{P}{\beta} \right) \right] + \frac{P - \beta M_0}{2\beta^3 EI} \quad (13)$$

Как видно из (13), изменение расчетной модели и ее привязка к фактическим условиям работы при слабых грунтах позволяет определить реальное горизонтальное смещение оголовков свайных закреплений. При учете вертикальной нагрузки на оголовки свай величина этого смещения позволяет определять дополнительные изгибающие моменты, которые невозможно было бы учесть в случае использования обычной расчетной модели.

ВЫВОДЫ

1. При составлении расчетных моделей сооружений необходимо учитывать не только геометрическую схему сооружения, но и особенности его работы в условиях слабых, подверженных размыву, грунтов.

2. Чтобы учесть факторы, влияющие на формирование расчетной модели, необходимо располагать результатами предварительных инженерно-геологических и гидрологических изысканий: иметь данные о свойствах грунтов, мощности пластов, характере волнения в данном месте и т.п.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Дальнейшие исследования могут включать в себя совершенствование методики расчета свай для водонасыщенных грунтов, а также разработку конструктивных предложений для борьбы с размывом, новых конструктивных решений свай.

ЛИТЕРАТУРА

1. Морские гидротехнические сооружения на континентальном шельфе / Симаков Г.В. [и др.]. - Л.: Судостроение, 1989. – 328 с.

2. Доусон Т. Проектирование сооружений морского шельфа [Текст] / Т. Доусон. — Л.: Судостроение, 1986. - 287 с.

3. Душко В.Р. Оценки экстремальных характеристик транспорта донного материала в Азово-Черноморском бассейне / В.Р. Душко, В.М. Кушнир // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. - 2003. - №9. - С.206-215.

4. Седин В.Л. Опыт исследования работы свай различной формы в условиях слабых грунтов / В.Л. Седин, В.Б. Швец, А.И. Алексеев, М.П. Захваткин, К.М. Бикус // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. - 2010. - Вып. №9. - С. 35-40.

5. Тер-Мартirosян З.Г. Напряженно-деформированное состояние в грунтовом массиве при его взаимодействии со свайей и фундаментом глубокого заложения / З.Г. Тер-Мартirosян // Вестник МГСУ. - 2006. - Вып.1. - С.38-49.

6. Пшеничная-Ажермачёва К. С. Работа свайного основания МСП при размыве грунта / К. С. Пшеничная-Ажермачёва // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. (По материалам Междунар. науч.-практич. конф. "Геостойкое строительство", 27-28 окт. 2011 г., г. Симферополь). — Симферополь : НАПКС, 2011. — Вып. 39. — С. 66—72.

SUBSTANTIATION OF DESIGN SCHEMES OF PILE ANCHORAGES FOR OFFSHORE FIXED PLATFORMS ON SOFT SOILS

Chemodurov V. T., Azhermachev S. G., Pshenichnaya-Azhermacheva X. S.

Summary: The options for compiling design models of pile anchorages for offshore fixed platforms are considered. The approaches to the formation of the calculation model taking into account the operation of the structure in soft soils are shown. Correction of the calculation models allows us to identify additional force factors that could be unaccounted for in the formal approach to the preparation of calculation schemes.

Key words: Pile, offshore platform, design scheme, design model, soft soils

УДК 621.039.58

ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ ОБОСНОВАНИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ СООРУЖЕНИЙ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ С УЧЕТОМ ОСОБЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Саргсян А.Е.

НИОДиС АО «Атомэнергoproject», г. Москва

Аннотация. В настоящей работе изложены основные концепции по расчету и обоснованию проектных решений сооружений атомных станций на особые динамические природные и техногенные воздействия. Рассмотрены вопросы, связанные с расчетом сооружений при их соударении с летящим телом конечной жесткости в целом, а также с расчетом их отдельных элементов, находящихся в сложном напряженно-деформированном состоянии, на прочность при воздействии дополнительной кратковременной нагрузки большой интенсивности от локального удара летящего тела, которые являются актуальной тематикой в области атомной энергетики. Представленные результаты расчетов подтверждают широкие возможности совершенствования конструктивных решений защитных оболочек путем реализации инновационных материалов, позволяющих существенно экономить материальные ресурсы при одновременном повышении надежности и безопасности сооружений в атомной энергетике. Показано, что реализация новых высокопрочных материалов, например, сталефибробетона, является важным стратегическим этапом совершенствования оптимизации компоновочных решений сооружений атомных станций.

Ключевые слова: атомные станции, надежность, безопасность, техногенное воздействие.

ВВЕДЕНИЕ

В общем объеме задач современного строительства сооружений атомных станций особое место отводится разработке методов расчета сооружений при динамических воздействиях. В частности, повышенные требования предъявляются к сейсмостойкости и надежности энергетических объектов и устанавливаемому на них оборудованию как при нормальном режиме эксплуатации, так и при динамических воздействиях.

Все уникальные объекты атомной энергетики в России расположены в районах с расчётной сейсмичностью от 6 до 9 баллов. Как правило, эти объекты возводятся на нескальных основаниях с весьма неоднородным и сложным геологическим строением, что порождает целый ряд проблем расчетного и конструктивного характера, которые практически не возникают при строительстве промышленных и гражданских объектов.

Во всех существующих теориях сейсмостойкости сооружений сейсмические воздействия на сооружения считаются заданными величинами и передаются опорным конструкциям сооружения. Предполагается, что внешнее воздействие зависит только от механизма и места расположения очага землетрясения и геологического строения строительной площадки и параметры реакций сооружения на них не влияют. При этом интенсивность сейсмического воздействия на поверхность строительной площадки, в зависимости от механизма и расположения очага землетрясения, чаще всего устанавливается чисто визуально. На самом же деле очевидно, что сооружение, его основание и источник первичных волн (очаг землетрясения) образуют при сейсмическом воздействии единую динамическую систему. При этом может быть существенной обратная связь от сооружения к пластам его основания.

Расчет сооружения в такой постановке вызывает необходимость учета эффектов взаимодействия

сооружения с основанием. В свою очередь, исследование проблемы взаимодействия сооружения с основанием с учетом геологического строения строительной площадки и конструктивных особенностей сооружения дает возможность перейти к более обоснованным расчетным моделям.

Широкое развертывание капитального строительства для нужд энергетики, транспорта и крупного машиностроения требует решения многих специфических задач, связанных с расчетом сооружений на динамические воздействия, в частности на воздействия ударного типа.

Особое место среди сооружений, подверженных воздействию интенсивных динамических нагрузок (повреждения осколками технологического оборудования при аварийных режимах; воздействие предметов при природных явлениях (ураган, смерч и т. д.); случайный удар падающих предметов, в частности летательных аппаратов и их частей), занимают сооружения энергетического назначения, к которым предъявляются особо высокие требования в отношении надежности и безопасности при аварийных режимах и стихийных бедствиях [1, 2].

Многие вопросы, связанные с расчетом сооружений при их соударении с летящим телом конечной жесткости в целом, а также с расчетом их отдельных элементов, находящихся в сложном напряженно-деформированном состоянии, на прочность при воздействии дополнительной кратковременной нагрузки большой интенсивности от локального удара летящего тела, являются актуальной тематикой в области атомной энергетики. Объекты ядерной энергетики, и прежде всего атомные станции (АС), – наиболее сложные и потенциально опасные инженерные сооружения, поэтому задача обеспечения их ядерной и радиационной безопасности, в том числе при экстремальных динамических воздействиях, чрезвычайно актуальна.

Все экстремальные воздействия природного и техногенного происхождения (землетрясение, ураган, смерч, взрыв, падение самолета и т. д.) характеризуются высокой интенсивностью, малой продолжительностью и низкой вероятностью возникновения. Поэтому оценка прочности и надежности основания, строительных конструкций сооружения, оборудования атомных станций при указанных воздействиях представляет собой весьма специфическую проблему. Неполнота и неопределенность исходных данных по расчетным параметрам рассматриваемых воздействий и возможным сценариям повреждения и разрушения защитных конструкций сооружения, сложность реализации экспериментов на физических моделях и натуральных объектах – эти обстоятельства выдвигают на первый план расчетные методы математического моделирования.

В соответствии с рекомендациями МАГАТЭ [2] установлены жесткие требования относительно вероятности тяжелого повреждения активной зоны ядерного реактора, которая не должна превышать 10^{-5} 1/год. Вероятность выхода радиоактивных веществ за пределы герметичной оболочки не должна превышать 10^{-7} 1/год. Радиационное воздействие АС на население и окружающую среду не должно превышать 1 % дозы, получаемой от источников естественной радиации.

Согласно требованиям нормативных документов РФ к проектированию атомных станций [2, 3, 4] при обосновании сейсмостойкости элементов, относящихся к I категории ответственности, выполняющих функции по обеспечению безопасности, при выборе площадки рассматривается сейсмическое воздействие максимальной интенсивности повторяемостью один раз за 10000 лет. Воздействия от падения самолета и воздушной ударной волны определяются из числа возможных наиболее неблагоприятных событий редкой повторяемостью 10^{-7} 1/год [5, 6, 7]. Расчетные параметры экстремальных нагрузок и воздействий природного происхождения (температура, снег, ураган, смерч) определяются повторяемостью один раз за 10000 лет [1, 2].

Правила учета внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии (ОИАЭ) установлены в соответствии с [8].

В проекте ОИАЭ должны быть установлены и обоснованы значения параметров внешних природных воздействий с вероятностью возникновения в один год 10^{-4} и выше, а внешние техногенные воздействия определяются с вероятностью возникновения на интервале в один год и выше.

1. НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ

1.1. Сейсмические воздействия

Здания и сооружения, строительные конструкции и основания, технологическое оборудование атомных станций по условиям их ответственности за радиационную и ядерную безопасность подразделяются на три категории сейсмостойкости. Элементы I категории сейсмостойкости должны сохранять прочность и устойчивость при максимальном расчетном землетрясении (МРЗ) повторяемостью один раз в 10000 лет. Элементы II категории сейсмостойкости должны сохранять прочность и устойчивость при проектном землетрясении (ПЗ) повторяемостью один раз в 1000 лет. Элементы III категории сейсмостойкости должны сохранять прочность и устойчивость включая землетрясение повторяемостью один раз в 100 лет. Поэтому, сейсмостойкость элементов III категории допускается выполнять в соответствии с общегражданскими нормами [2, 3].

Для вновь проектируемых АС, независимо от сейсмичности площадки, максимальное значение горизонтальных компонент ускорения грунтов на свободной поверхности площадки при МРЗ принимается равным не менее $1,0 \text{ м/с}^2$, а при ПЗ не менее $0,5 \text{ м/с}^2$ [3].

Неопределенности, обусловленные расчетными параметрами внешних воздействий, характеристиками грунтов оснований, материалами инженерных конструкций сооружений и оборудования, учитываются:

- анализом динамического взаимодействия сооружения с основанием с учетом вариации расчетных динамических характеристик грунтов;
- расширением пиков поэтажных спектров откликов;
- использованием рекомендованных параметров демпфирования.

При строгом соблюдении указанных требований результаты расчетов будут обеспечены при 90 % вероятности неперевышения при 84 % вероятности неперевышения интенсивности исходного воздействия.

На рисунке 1 представлен график трехкомпонентной акселерограммы колебаний грунтов на свободной поверхности площадки при МРЗ.

1.2. Нагрузки на сооружения, возникающие при соударении с летящим телом

В настоящее время с учетом вероятности реализации событий 10^{-6} 1/год и выше рассматриваются различные типы летательных аппаратов. На рисунке 2 представлены силы соударения, возникающие при падении военного самолета типа «Фантом» на сооружение атомной станции.

Учет самолета этого типа истребитель-бомбардировщик *Phantom RF-4E* предусмотрен рекомендациями МАГАТЭ и по нормам РФ [6].

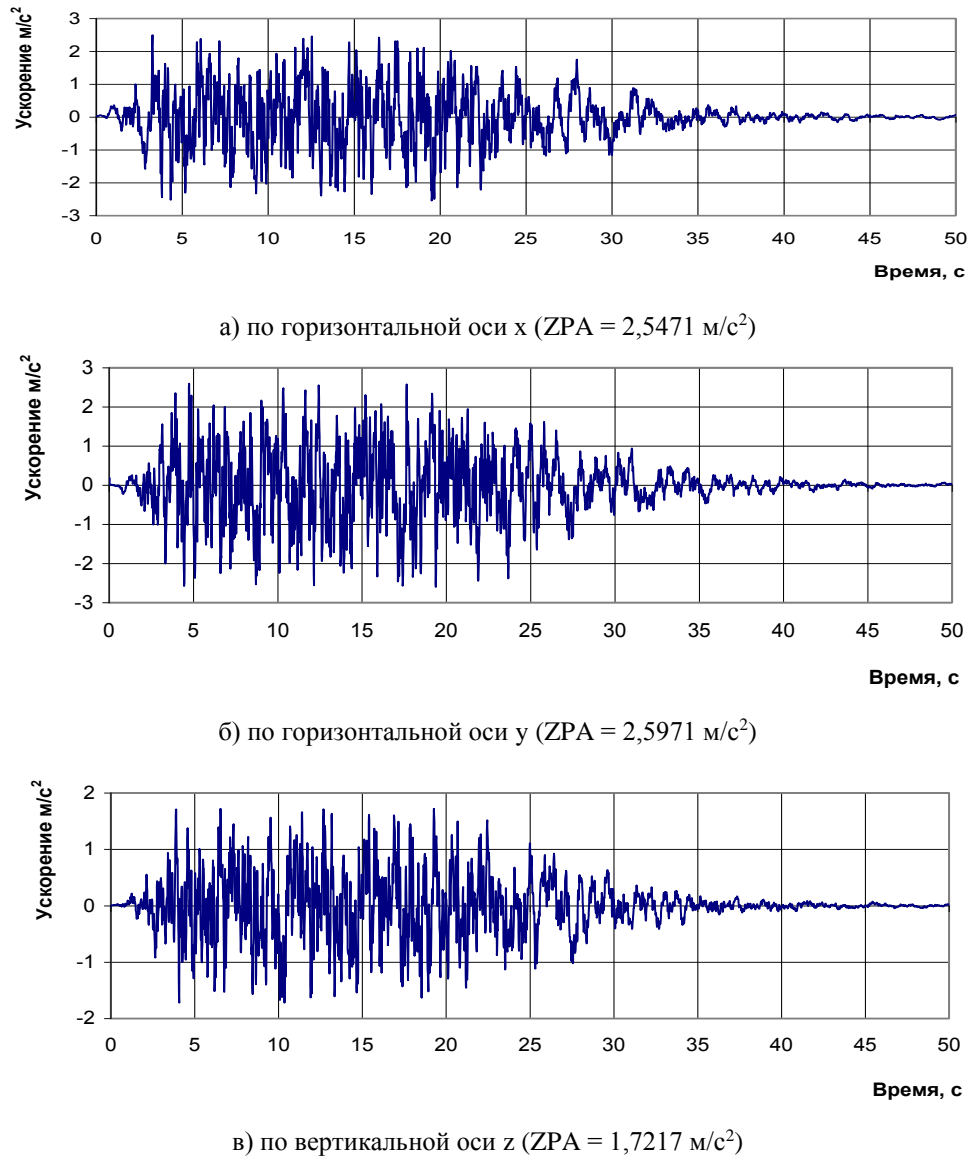


Рис. 1. График трехкомпонентной акселерограммы колебаний грунтов на свободной поверхности площадки АС при МРЗ

Fig. 1. Schedule of a three-component accelerogram of soil vibrations on the free surface of the NPP site at MRZ

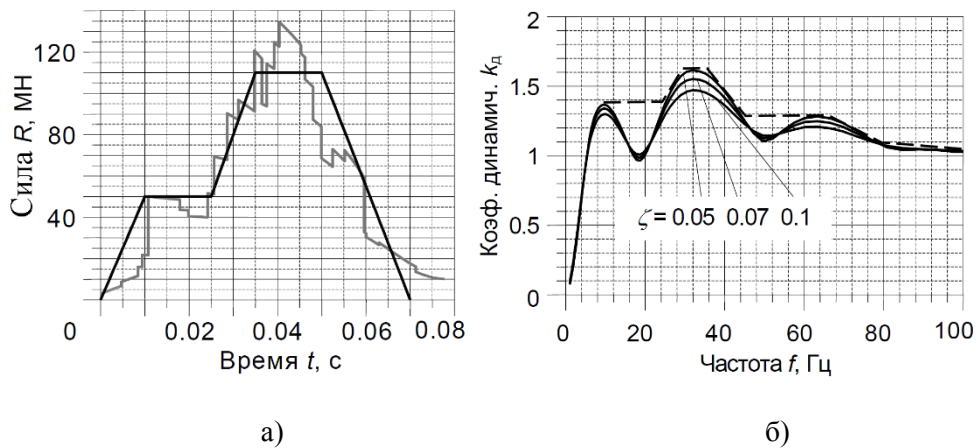


Рис. 2. Силы соударения при ударе истребителя-бомбардировщика *Phantom RF-4E* (а – сила соударения; б – коэффициент динамичности)

Fig. 2. Collision forces upon impact of a *Phantom RF-4E* fighter-bomber (a - collision force; b - dynamic coefficient)

1.3. Воздействие воздушной ударной волны на сооружения

Одно из основных экстремальных динамических воздействий, которое необходимо учитывать при

проектировании сооружений атомных станций первой категории ответственности - это воздушная ударная волна, вызванная надземным взрывом. Характер изменения давления в зависимости от времени на наружной поверхности сооружения представлен на рисунке 3 в соответствии с [2].

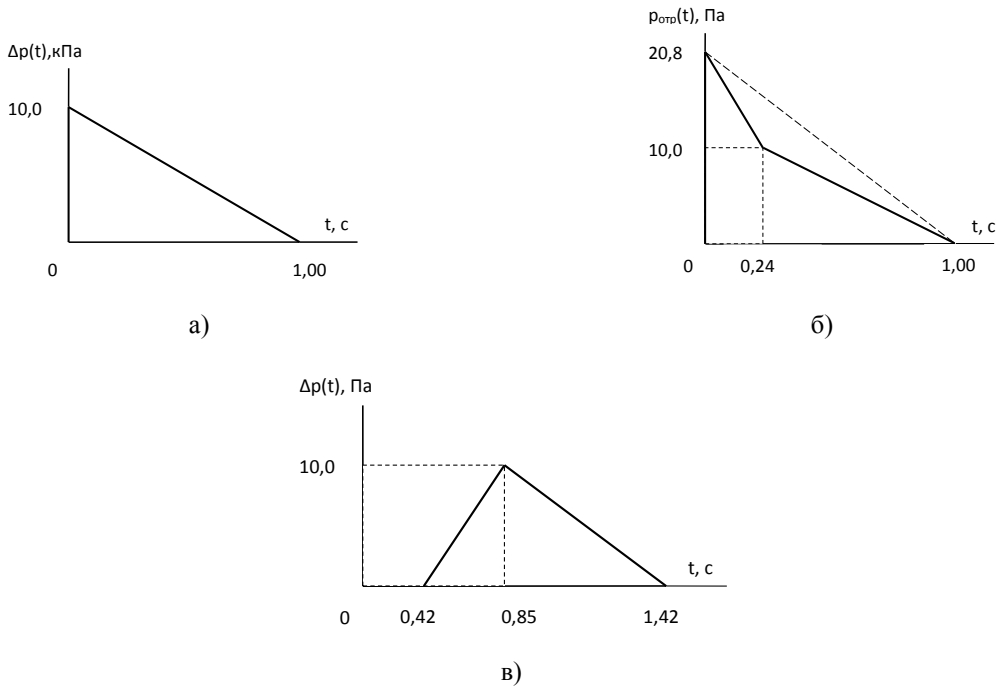


Рис. 3. Характер изменения давления в зависимости от времени на наружной поверхности сооружения а – давление в проходящей волне, на кровлю и боковые стены здания; б – фронтальная стена; в – тыльная стена

Fig. 3. The nature of the pressure change depending on the time on the outer surface of the structure a - pressure in the passing wave, on the roof and side walls of the building; b - frontal wall; in - back wall

2. ДИНАМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОСНОВАНИЯ СООРУЖЕНИЯ

Расчетные характеристики разработанной механической модели основания сооружений

атомных станций в виде однородного инерционного полупространства представлены в таблице 1 в соответствии с [2, 4].

Таблица 1. Выражения для определения квазистатических и мгновенных жесткостей основания сооружения с фундаментной конструкцией прямоугольной формы на плане [2]

Table 1. Expressions for determining the quasistatic and instantaneous stiffnesses of the foundation of the structure with a rectangular construction on the plan [2]

Вид движения	Квазистатическая жесткость	Мгновенная жесткость
Горизонтальное поступательное по оси x	$k_x = \frac{31,1(1-\mu)G\sqrt{L_x L_y}}{\sqrt{\pi}(7-8\mu)}$	$c_x = \frac{18,24(1-\mu)GA}{\pi(7-8\mu)} \sqrt{\frac{\rho}{G}}$
Горизонтальное поступательное по оси y	$k_y = \frac{31,1(1-\mu)G\sqrt{L_x L_y}}{\sqrt{\pi}(7-8\mu)}$	$c_y = \frac{18,24(1-\mu)GA}{\pi(7-8\mu)} \sqrt{\frac{\rho}{G}}$
Вертикальное поступательное по оси z	$k_z = \frac{4G\sqrt{L_x L_y}}{\sqrt{\pi}(1-\mu)}$	$c_z = \frac{3,4GA}{\pi\sqrt{1-\mu}} \sqrt{\frac{\rho}{G}}$

Продолжение таблицы 1.

Вращательное относительно горизонтальной оси x	$k_{\varphi x} = \frac{8,52G}{\sqrt{\pi(1-\mu)}} \left[2 - \left(\frac{L_y}{L_x} \right)^2 \right] \cdot \frac{J_{Ax}}{\sqrt{A}}$	$c_{\varphi x} = \frac{2,1GJ_{Ax}}{\pi(1-\mu)} \left[1 + 0,32 \left(\frac{L_y}{L_x} \right)^2 \right] \cdot \sqrt{\frac{\rho}{G}}$
Вращательное относительно горизонтальной оси y	$k_{\varphi y} = \frac{8,52G}{\sqrt{\pi(1-\mu)}} \cdot \frac{J_{Ay}}{\sqrt{A}}$	$c_{\varphi y} = \frac{2,86GJ_{Ay}}{\pi(1-\mu)} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{G}}$
Вращательное относительно вертикальной оси z	$k_{\varphi z} = \frac{5,2G}{\sqrt{\pi(1-\mu)}} \cdot \frac{J_{Az}}{\sqrt{A}}$	$c_{\varphi z} = \frac{1,54GJ_{Az}}{\pi(1-\mu)} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{G}}$

Интегральные значения жесткости основания сооружения реакторного отделения атомной станции ВВЭР-1000 при заданных приведенных расчетных характеристиках грунтов основания ($\rho = 2,23 \text{ кН} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$; $\mu = 0,39$; $G = 739 \text{ МПа}$) обобщены в таблице 2.

3. МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ СООРУЖЕНИЙ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

Для выполнения расчетов системы сооружение-основание при динамических воздействиях в настоящее время существует единственный универсальный метод.

Прямое интегрирование во времени может быть использовано для расчета как линейных, так и нелинейных систем.

Если расчетная модель системы сооружение-основание является линейной, то при заданных внешних динамических нагрузках интегрируется система дифференциальных уравнений

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{P(t)\}, (1)$$

где $[M]$, $[C]$ и $[K]$ - матрицы масс, диссипации энергии и жесткости соответственно;

$\{\ddot{u}\}$, $\{\dot{u}\}$ и $\{u\}$ - векторы ускорений, скоростей и перемещений, возникающих за счет собственных деформаций системы;

$\{P(t)\} = \{J\}R(t)$ - вектор внешних сил приложенных в дискретных точках конечно - элементной модели рассматриваемой системы;

$\{J\}$ - вектор определяющий характер распределения внешней нагрузки $R(t)$ на рассматриваемую систему с конечным числом степенями свободы.

При сейсмических воздействиях система уравнений (1) принимает вид

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -[M]\{J_b\}\ddot{u}_g(t),$$

$\{J_b\}$ - вектор, элементы которого равны косинусам углов между направлением сейсмических колебаний основания и перемещениями по степеням свободы системы (компоненты, соответствующие угловым перемещениям, равны нулю);

$\ddot{u}_g(t)$ - закон изменения ускорений основания (акселерограммы).

Начальные условия задают перемещения и скорости перемещения по всем координатам в момент времени $t = 0$

$$\{u(0)\} = \{u_0\}; \{\dot{u}(0)\} = \{\dot{u}_0\} \text{ (как правило, } \{u(0)\} = \{0\} \text{ и } \{\dot{u}(0)\} = \{0\} \text{)}.$$

Максимальное значение шага интегрирования по времени Δt при применении пошаговых методов расчета, рекомендованных различными авторами представлена в таблице 2 в соответствии с [2].

Таблица 2. Максимальное значение шага интегрирования по времени Δt при применении пошаговых методов расчета, рекомендованных различными авторами

Table 2. The maximum value of the integration time step Δt when applying step-by-step calculation methods recommended by various authors

Наименование метода	Максимальное допустимое значение Δt в долях от наименьшего представляющего интерес периода собственных колебаний системы
Метод Хуболта	1/15
Метод Ньюмарка	1/10
θ - метод Вильсона	1/10
Метод Нигам-Дженингс	1/5

При прямом динамическом методе пропорциональное рэлеевское демпфирование реализуется через матрицу демпфирования [C], являющуюся линейной комбинацией матрицы масс [M] и матрицы жесткости [K] системы

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K],$$

где α и β - коэффициенты пропорциональности, определяемые выражениями

$$\alpha = \frac{4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot f_{\max} \cdot f_{\min}}{f_{\max} + f_{\min}}, \quad \beta = \frac{\lambda}{\pi \cdot (f_{\max} + f_{\min})}.$$

Здесь λ - значения коэффициента демпфирования; f_{\max} и f_{\min} - максимальная и минимальная частоты, фиксирующие частотный диапазон, в котором формируется реакция системы.

Для определения эффекта динамического взаимодействия подсистемы с общей системой необходимо воспользоваться критериями, установленными по [9, 10].

Внешний вид конечно-элементной модели здания реакторного отделения (РО) по программному средству (ПС) ANSYS представлен на рисунке 4.

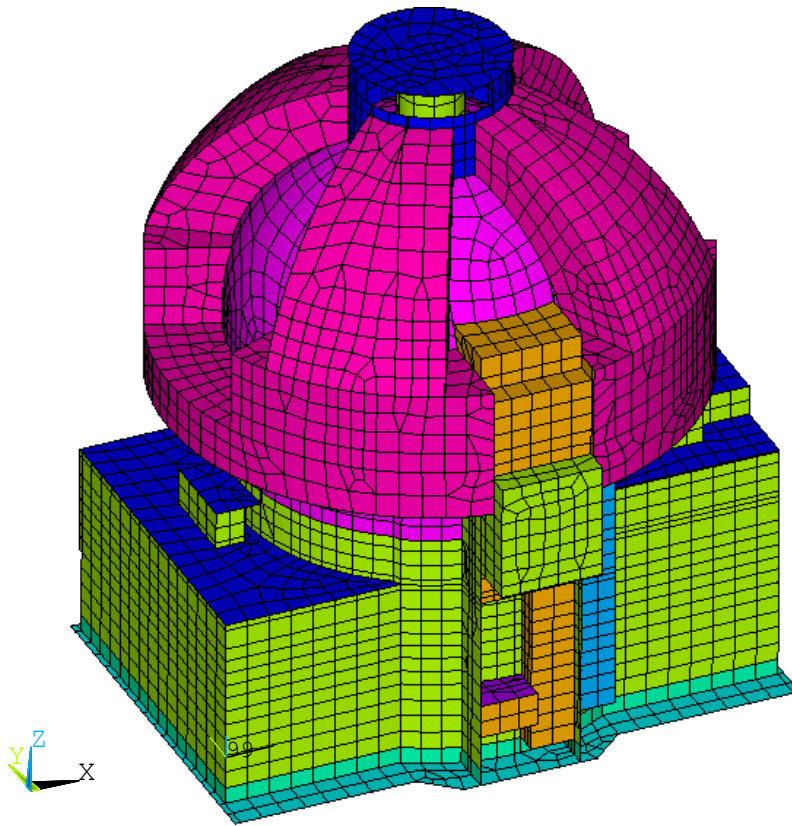
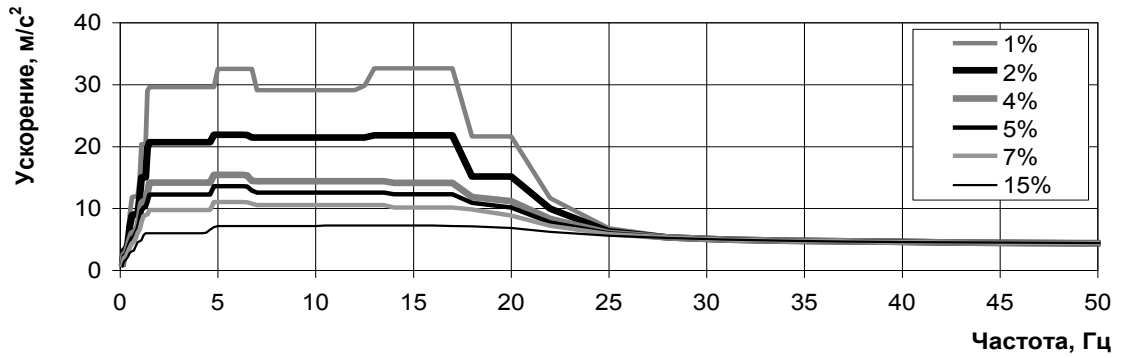


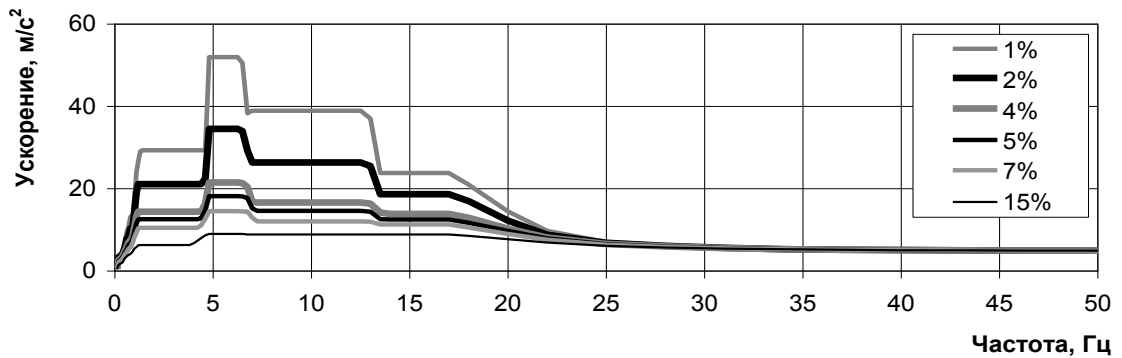
Рис. 4. Внешний вид конечно-элементной модели здания РО по ПС ANSYS

Fig. 4. Appearance of the finite-element model of the building of the RO according to PS ANSYS

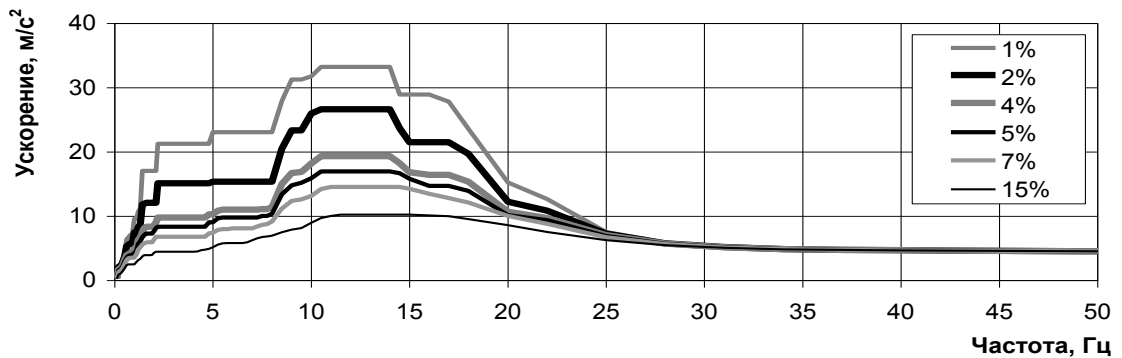
Расширенные обобщенные огибающие спектры отклика от МРЗ на отметке плюс 12,200 в зоне расположения дна бассейна выдержки при различных значениях коэффициента демпфирования от критической величины по результатам расчетов ПС ANSYS представлены на рисунке 5.



а) по горизонтальной оси x ($ZPA = 4,190 \text{ м/с}^2$)



б) по горизонтальной оси y ($ZPA = 4,770 \text{ м/с}^2$)



в) по вертикальной оси z ($ZPA = 4,240 \text{ м/с}^2$)

Рис. 5. Расширенные обобщенные огибающие спектры отклика от МРЗ на отметке плюс 12,200 в зоне расположения дна бассейна выдержки

Fig. 5. Extended generalized envelopes of response spectra from MRZ at plus 12,200 in the area of the bottom of the exposure pool

4. ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ЗАЩИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ ЛОКАЛЬНЫХ НАГРУЗОК, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ СОУДАРЕНИИ С ЛЕТАЮЩИМИ ПРЕДМЕТАМИ

Воздействия от падения самолета определяются из числа возможных наиболее неблагоприятных

событий редкой повторяемостью 10^{-7} 1/год [2, 5, 6, 7]. Расчетная схема защитной оболочки при действии локальной нагрузки представлена на рисунке 6.

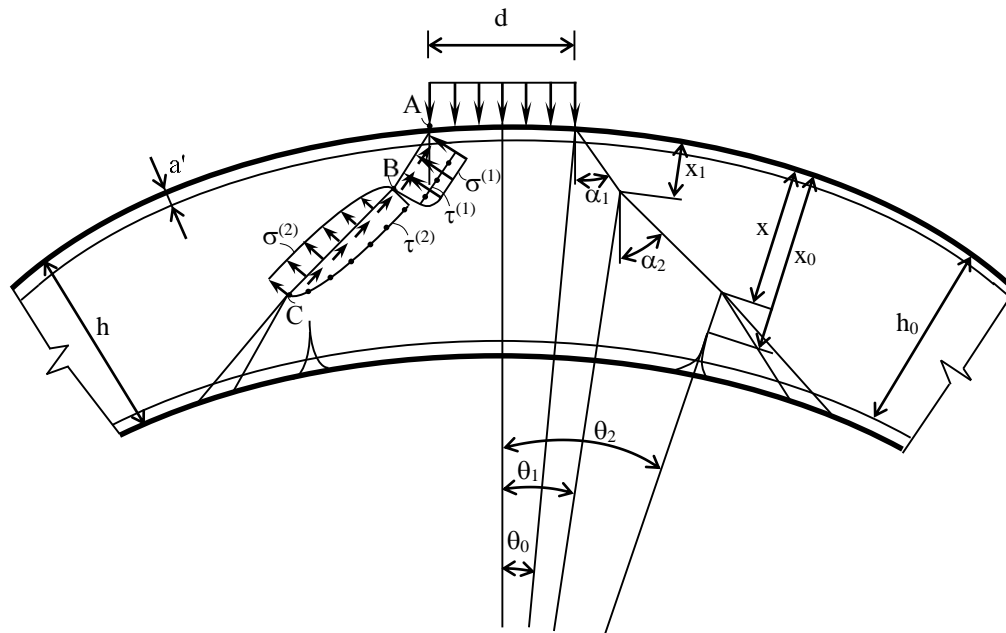


Рис. 6. Экспериментально обоснованная локальная схема разрушения железобетонной оболочки

Fig. 6. Experimentally substantiated local scheme for the destruction of reinforced concrete shell

Реализация новых высокопрочных материалов, например, сталефибробетона, является важным стратегическим этапом совершенствования оптимизации компоновочных решений сооружений атомных станций.

В качестве примера ниже в таблице 3 продемонстрирована эффективность реализации сталефибробетона в замен обычного бетона в защитной оболочке РО АЭС с ВВЭР-1000.

Таблица 3. Обобщение результатов расчетов локальной прочности купольной части защитной оболочки из различных материалов при падении самолета типа «Фантом»

Table 3. Generalization of the results of calculations of the local strength of the domed part of the containment made of various materials during the fall of the Phantom type aircraft

Толщина стенки, h, м	Материал	Максимальное значение силы соударения, 10 ⁵ кН	Несущая способность, P _{1max} , 10 ⁵ кН
0,6	Бетон марки В30	1,1	0,34359
1,2	Бетон марки В30	1,1	1,75338
0,6	Высокопрочный порошковый бетон	1,1	2,951332
0,6	Сталефибробетон	1,1	4,36464

Представленные в таблице 3 результаты расчетов показывают, что прочность оболочки при падении военного самолета типа «Фантом», изготовленной из бетона марки В30 с толщиной h = 0,6 м, является недостаточной. Во всех других рассматриваемых случаях условие прочности оболочки выполняется с большим запасом.

Как показывают результаты расчетов, при идентичных исходных данных в случае замены обычного бетона класса В30 на высокопрочный

порошковый бетон несущая способность защитной оболочки возрастает в $\frac{2,951332}{0,34359} = 8,59$ раза.

Как показывают результаты расчетов, представленных в таблице 2.6 при идентичных исходных данных в случае замены обычного бетона класса В30 на сталефибробетон несущая способность защитной оболочки возрастает в $\frac{4,36464}{0,34359} = 12,7$ раза.

Представленные результаты расчетов подтверждают широкие возможности совершенствования конструктивных решений защитных оболочек путем реализации инновационных материалов, позволяющих существенно экономить материальные ресурсы при одновременном повышении надежности и безопасности сооружений в атомной энергетике.

5. ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ СТЕНОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ПРОБИВАНИЕ ПРИ СОУДАРЕНИИ С ДВИГАТЕЛЕМ САМОЛЕТА BOEING 747-400 «JUMBO JET»

При соударении сооружения с твёрдыми телами, как правило, происходит пробивание стеновых защитных конструкций.

Расчетная схема пробивания стеновых защитных конструкций при соударении с твердым телом представлена на рисунке 7.

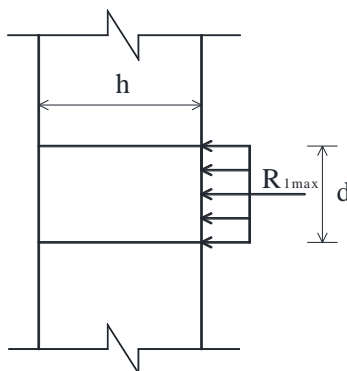


Рис. 7. Расчетная схема пробивания стеновых защитных конструкций при соударении с твердым телом

Fig. 7. The design scheme for punching wall protective structures in a collision with a solid

Исходные характеристики двигателя приняты в соответствии с рекомендациями компании AREVA: масса двигателя $M = 1,7$ т; скорость двигателя в начальный момент соударения с преградой $V = 100$ м/с;

площадь контакта при соударении двигателя с преградой $A = 1,50$ м².

Диаметр пятна соударения принимает значение

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = 1,38 \text{ м.}$$

В соответствии с рекомендациями МАГАТЭ [2] выражение силы соударения определяется по формуле

$$R(t) = \frac{8MV}{m_3 V_3} \sin(125 \pi t) = \frac{8MV}{m_3 V_3} \sin(392,5t) = \frac{8MV}{m_3 V_3} \sin\left(\frac{1}{0,016} t\right),$$

где $m_3 = 1,75$ Т; $V_3 = 100$ м/с.

Максимальное значение силы соударения в данном случае принимает значение

$$R_{1\max} = \frac{8 \cdot 1,5 \cdot 100}{1,75 \cdot 100} = 6,86 \text{ МН} = 6860 \text{ кН.}$$

Расчетное сопротивление бетона марки В50 принято $R_{bd} = 36$ МПа.

Выполним проверку прочности стеновой конструкции [2]

$$R_{1\max} = 0,735 \pi d h R_{bd} = 0,735 \cdot 3,14 \cdot 1,38 \cdot 1,5 \cdot 36000 = 171985 \text{ кН} \gg 6860 \text{ кН.}$$

Следовательно, прочность стеновой конструкции на пробивание при соударении с двигателем самолета в данном случае будет обеспечена с большим запасом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе изложены основные концепции по расчету и обоснованию проектных решений сооружений

атомных станций на особые динамические природные и техногенные воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. НП-064-17. Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии. ФБУ «НТЦ ЯРБ», Москва, 2018, 68 с.
2. Саргсян А.Е. Динамика и сейсмостойкость сооружений атомных станций. РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров, 2013, 550с.
3. НП-031-01. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. Москва, 2001, 30 с.
4. МР1.5.2.05.999.0025-2011. Расчет и проектирование сейсмостойких атомных станций. Москва, 2011, 140 с.
5. ПНАЭ Г-10-007-89. Нормы проектирования железобетонных сооружений локализирующих систем безопасности атомных станций. Москва, 1991, 39 с.
6. ПиН АЭ-5.6. Нормы проектирования АС с реакторами различного типа. Москва, 1999, 19 с.
7. ПП-001-97. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. Москва, 2001, 60 с.
8. НП-064-17. Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии. Москва, 2018.
9. ASCE STANDART 4-98. Seismic Analysis of Safety Related Nuclear Structures. American Society of Civil Engineers. Approved September, 1988.
10. МР 1.5.2.05.999.0027-2011. Нормы проектирования атомных станций на сейсмостойкость. Москва, 2011.

BASIC CONCEPTS OF SUBSTANTIATION OF DESIGN DECISIONS OF STRUCTURES OF NUCLEAR STATIONS, TAKING INTO ACCOUNT SPECIAL DYNAMIC INFLUENCES

Sargsyan A.E.

Annotation. This work outlines the basic concepts for calculating and substantiating design decisions for the construction of nuclear power plants for special dynamic natural and man-made impacts. Issues related to the calculation of structures upon their collision with a flying body of finite stiffness as a whole, as well as the calculation of their individual elements in a complex stress-strain state, on strength under the influence of an additional short-term high-intensity load from a local impact of a flying body, which are relevant topics in the field of nuclear energy. The presented calculation results confirm the wide possibilities for improving the design solutions of protective shells by implementing innovative materials that can significantly save material resources while improving the reliability and safety of facilities in nuclear energy. It is shown that the implementation of new high-strength materials is an important strategic step in improving the optimization of layout solutions for nuclear power plants.

Key words: nuclear power plants, reliability, safety, technogenic impact.

Раздел 3. Инженерное обеспечение

УДК628.144; 628.171.001.24

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ С УЧЕТОМ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Турчина Г.С.

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
ДНР, г. Макеевка, ул. Державина, 2, galina_tur4ina@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты работы по исследованию оценки надежности систем подачи и распределения воды. Были выявлены возможные способы учета дополнительного влияния, оказываемого конструкционными, эксплуатационными и структурными компонентами сетей водоснабжения. В данной статье представлен обзор математического подхода, с помощью которого можно определить оказываемое влияние на параметры надежности от функциональной нагрузки трубопроводов. Согласно нормативным требованиям, количество воды, подаваемое сетью, в случае поломки на одном из участков труб, не должно снизиться более чем на 30%. При этом, для нормального функционирования системы подачи и распределения воды следует обеспечить не только забор воды потребителями, но и ее транзит по трубам к другим участкам. Вполне вероятно, что при отказе участка, происходит не только перебой в подаче воды на нем, но и снижение количества подаваемой воды в других трубопроводах, структурно зависящих от аварийного. В связи с этим была изучена возможность определения «слабых» мест в сети с точки зрения обеспечения функциональной надежности. Также рассматривается возможность учета неравнозначности оказываемого влияния от отключения различных элементов сети. Для примера, в рамках статьи проведен расчет оценки надежности кольцевой сети подачи и распределения воды с помощью предложенного математического подхода. Водопроводные сети представлены в двух вариантах: из чугуна и полиэтилена. На основании расчета предоставлены таблицы с результатами исследований и выводы по исследуемой сети водоснабжения.

Предмет исследования: Научное обоснование математического подхода в решении задач надежности инженерных систем с учетом значимости отдельных ее элементов. А также оценка влияния различных факторов на расчет системы в целом, в данной статье – с точки зрения функциональной надежности.

Материалы и методы: Параметры надежности трубопроводов находятся согласно формулам экспоненциального закона распределения отказов элементов. Нахождение данных без учета значимости трубопроводов осуществляется с использованием теории вероятности. В оценке надежности трубопроводов распределительной системы водоснабжения применен математический подход с возможностью учета влияния функциональной загруженности.

Результаты: Для примера предложенного метода расчета, была представлена система подачи и распределения воды. При решении задачи определения параметров надежности, был произведен расчет без оценки значимости элементов сети (таблица 1) и с учетом оказываемого влияния от функциональной загруженности трубопроводов (таблица 2). При сравнении данных из таблиц 1 и 2 видно, что во втором случае наблюдаются значения показателей надежности участков выше, чем в первом. Однако важнее то, что таким образом возможно найти трубопроводы сети, которые не справляются с необходимой функциональной нагрузкой.

Выводы: В данной статье представлен обзор способа нахождения функциональной составляющей оценки надежности. Данный метод расчета надежности позволяет определять участки, которые имеют большую степень опасности для сети из-за их отключения, с точки зрения функциональной загруженности, и нуждаются в повышенном внимании. Также с помощью этого математического подхода возможно определить, какая из конфигураций сети более надежна с позиции обеспечения живого сечения труб, транзита и забора воды из сети. Это, в свою очередь, позволяет более экономично распределить работы по ремонту и прокладке новых труб, с позиции как уже имеющихся сетей, так и тех, что находятся на предварительной оценке проекта.

Ключевые слова: Надежность, сеть водоснабжения, вероятность безотказной работы, транспортная и раздаточная функции участков кольцевой водопроводной сети, коэффициент готовности.

ВВЕДЕНИЕ

На стадии изучения нормативной документации по оценке надежности кольцевых сетей водоснабжения обнаружилось, практически, полное отсутствие нормативов, связанных с оценкой надежности систем подачи и распределения воды.

За исключением крайне малой отсылки в СП(СП 31.13330.2012, Водоснабжение. Наружные сети и сооружения СНиП 2.04.02.-84*, Москва, 2011) о периодах перебоя в подаче воды в зависимости от категории города. То есть, практически, численные показатели надежности систем водоснабжения в нормативных документах отсутствуют.

В поисках ответов на вопросы: как определить участки, которые более значимы и нуждаются в повышенном внимании? Икаким образом наиболее экономично распределить работы по ремонту и прокладке новых труб, как уже имеющих сетей, так и тех, что находятся на предварительной оценке проекта? Были проведены исследования с целью найти метод оценки надежности, органически отображающий учет влияния значимости, веса участка, его расположения и некоторых иных параметров. Это дало бы возможность наиболее эффективно направить финансирование на те элементы сети водоснабжения, ремонт и строительство которых окажет максимальную эффективность в рамках экономических затрат. В данной статье будет освещен один из таких параметров – возможность оценки веса и значимости, исходя из критериев функциональной заурженности участка.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Если рассматривать оценку надежности систем водоснабжения, то можно выделить три составляющие: эксплуатационную, структурную и функциональную.

Эксплуатационная надежность учитывает обслуживание и восстановление. Данный тип надежности системы определяется как вероятность того, что мероприятия по ремонтно-восстановительным работам и условия эксплуатации обеспечивают безотказность, не допускают повреждений конструкций, дефектов и неисправностей. В данной области часто в расчетах опираются на системы массового обслуживания и графологию. Ряд ученых являются в большей степени приверженцами этого направления [3, 10, 15, 16, 19].

Структурная надежность подразумевает, исходя из названия, структуру или конфигурацию сети, параметры труб, влияющие на частоту отказов, например, материал и длина. В данном направлении чаще применяют свойства теории вероятности и булевой алгебры [2, 7, 8, 13, 14, 11, 12].

Функциональная составляющая надежности в системах подачи и распределения воды имеет двойственный характер для рассматриваемых участков. С одной стороны они выполняют задачу транспортировки жидкости к другим участкам, с другой – отдачу воды из системы. Большинство существующих методов оценки надежности системы водоснабжения не учитывает эту особенность в полной мере. При этом стоит обратить внимание, что большинство исследователей в своих работах считают участки сети одинаковыми, в то время как каждый трубопровод отличен от других: материалом, из которого изготовлен, длиной, преобладающей функцией (транзита или забора воды), расположением в сети, диаметрами, соответственно, количеством переносимой и подаваемой жидкости.

Так, существующие методики оценки надежности многокольцевых сетей, предложенные, например, Гальпериным Е.М., Новохатным В.Г., Круценюк И.Ю. опираются либо на усредненные характеристики сети, либо на предположения об идентичности участков в системе водоснабжения [3, 11, 12, 15, 16]. Это не соответствует действительности и требует дальнейшего совершенствования методов [13]. Значительный шаг в этом направлении сделан в работе Панова М.Я., Щербакова В.И. и Петрова Ю.Ф. [17].

На данном этапе исследования можно выделить несколько ученых, чьи изыскания велись в направлении учета различной значимости элементов: в военной технике и электронике – Рябининым И.А., в информационных технологиях и электронике – Горопашной А.В., в экологическом мониторинге – Дорониной Ю.В., в газоснабжении – Иониным А.А., в водоснабжении – Самойленко Н.И. [4, 6, 9, 18, 19].

Аугусти Г., Баратта А. и Кашиати Ф. предположили, что «вероятности отказа, которые могут быть подсчитаны или оценены в инженерной практике, не имеют реальной статистической значимости». При этом отмечали, что важным являются «сравнения различных проектных решений» [1].

Не все из этих ученых в своих трудах описывали принципы оценки именно систем водоснабжения, однако основы предложенной методики лежат на периферии ряда исследований, адаптированных под реалии и параметры распределительных систем водоснабжения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Распределительную функцию достаточно хорошо отражает такой параметр как относительный вес участка g_i

$$g_i = \frac{q_{\text{пут } i}}{Q} \quad (1)$$

где $q_{\text{пут } i}$ – путевой расход на участке, л/с;

Q – общий расход воды, подаваемой в сеть, л/с.

Величина g_i заключена в интервале от 0 до 1 ($0 \leq g_i \leq 1$), а сумма всех g_i равна 1 ($\sum g_i = 1$). Вес участка g_i показывает, на какую долю от Q (общего расхода) уменьшается отдача воды сетью при отказе данного участка. В соответствии с требованиями СП 31.13330.2012, необходимо, чтобы $g_i \leq 0,3$ (снижение отдачи при аварии)

Роль участка в транспорте воды целесообразно оценивать таким параметром как относительное сечение трубопровода на участке C_i

$$C_i = \frac{f_i}{F} = \left(\frac{d_i}{D} \right)^2 \quad (2)$$

где f_i, d_i – площадь сечения и диаметр трубопровода на участке m^2, m ;

F, D – площадь сечения и диаметр условного трубопровода для пропускания всего подаваемого в сеть расхода воды при скорости $v = 1$ м/с.

Для простой тупиковой сети с одним участком $\sum C_i = 1$, для однокольцевой сети, состоящей из 4х участков, $\sum C_i = 4$, поскольку все участки кольца должны иметь одинаковый диаметр равный D , для пропускания всего расхода Q из условия надежности.

На основе величины C_i можно ввести более удобный для оценки транспортной функции участка параметр – значимость участка Z_i

$$Z_i = \frac{C_i}{\sum C_i}, 0 \leq Z_i \leq 1, \sum Z_i = 1 \quad (3)$$

Величина Z_i показывает, на какую долю от общего расхода воды Q уменьшится транспорт воды при отказе данного участка. При этом, в соответствии с требованиями СП 31.13330.2012 должно соблюдаться неравенство $Z_i \leq 0,3$.

Сравнение величин g_i и Z_i позволяет выяснить, какая из функций участка преобладает. Если $g_i > Z_i$, то доминирует раздаточная функция, а при $g_i < Z_i$ – транспортная. От величины g_i и Z_i зависит вклад отказа участка в отказ всей системы (сети).

Вероятность безотказной работы P и коэффициент готовности для трубопроводов определяется выражением, представленным на экране

$$P_i = e^{-\lambda t}; K_{Г} = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \quad (4)$$

где λ – интенсивность отказов, 1/км·год, зависит от материала труб;

l_i – длина трубопровода, км;

t – продолжительность эксплуатации трубопровода, год.

μ – интенсивность восстановления трубопровода, 1/год.

Величины λ и μ приводятся в справочной литературе, например, у Ильина Ю.В. и Журбы М.И. [7, 8]

Вероятность отказа трубопровода Q связана с P формулой, отображенной на слайде:

$$Q = 1 - P = 1 - e^{-\lambda t} \quad (5)$$

Далее можно вычислить вклад i -го участка Q_{iB} отказы всей сети с учетом его веса g_i и значимости Z_i

$$Q_{iB} = Q_i \cdot \left(\frac{g_i + z_i}{2} \right) \quad (6)$$

Логично предположить, что вероятность отказов всей сети $Q_{B(сети)}$ равна сумме вкладов всех участков в отказы.

$$Q_{сети} = \sum Q_{iB} \quad (7)$$

Тогда вероятность безотказной работы сети $P_{B(сети)}$ с учетом вкладов всех участков составит разность единицы и суммарного вклада отказов всех участков

$$P_{сети} = 1 - Q_{i(сети)} = 1 - \sum Q_{iB} \quad (8)$$

Аналогичным путем может быть найден коэффициент готовности i -того трубопровода $K_{Г(i)}$

$$K_{Г_i} = \frac{\mu_i}{\mu_i + \lambda_i}, K_{Г(B)} = K_{Г_i} \cdot (g_i + z_i) \cdot 0,5 \quad (9)$$

Далее вычисляется коэффициент ремонтнопригодности

$$K_{П_i} = 1 - K_{Г_i}, K_{П_i} = (g_i + z_i) \cdot 0,5 \quad (10)$$

И в конечном итоге коэффициент готовности сети

$$K_{Г(B(сети))} = 1 - \sum K_{П_i(B)} \quad (11)$$

Для примера учета значимости и веса была выбрана сеть, состоящая из 18 участков (Рис.1). На данной схеме приведены номера узлов, длины участков и диаметры труб для двух вариантов: над чертой – чугунных, под чертой – полиэтиленовых.

РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ

В таблице 1 приведены длины и диаметры труб, а также путевые расходы на участках сети. Далее вычислены вероятности безотказной работы участков P_i . Результаты вычислений в таблице 1 демонстрируют значительно большие величины параметров надежности у сети из полиэтиленовых труб, что и следовало ожидать.

Таблица 1. Результаты расчета показателей надежности участков кольцевой сети без учета значимости и веса (для $t=1$ год; для чугуна $\lambda = 0,43$ (1/км · год), для полиэтилена $\lambda = 0,02$ (1/км · год))

Table 1. Results of calculation of reliability indicators of loop network sections without taking into account significance and weight (for $t=1$ year; cast iron $\lambda = 0,43$ (1/кpy), for polyethylene plastics $\lambda = 0,02$ (1/кpy))

Показатели трубопровода			Для полиэтиленовых труб		Для чугунных труб	
№ уч.	l, км	$Q_{\text{пут.л/с}}$	d, мм	$P_i=e^{-\lambda t}$	d, мм	$P_i=e^{-\lambda t}$
1	2	3	4	5	6	7
1-2	1,05	22	300	0,979221	250	0,636702
1-7	0,94	20	300	0,981378	250	0,667539
6-7	1,02	22	250	0,979809	200	0,644968
2-6	0,94	21	250	0,981378	200	0,667539
5-6	0,2	5	200	0,996008	200	0,917602
4-5	0,9	20	200	0,982163	200	0,679118
3-4	0,71	15	300	0,985902	250	0,736926
2-3	0,84	18	300	0,983342	250	0,696866
5-10	0,66	15	250	0,986888	200	0,752939
10-11	0,34	9	150	0,993224	150	0,863998
11-12	0,83	18	150	0,983539	150	0,699868
4-12	1,05	22	200	0,979221	200	0,636702
7-8	1	22	250	0,980201	200	0,650538
8-9	0,48	14	200	0,990447	200	0,813525
9-10	1,15	26	150	0,977265	150	0,609907
9-14	0,69	15	150	0,986296	125	0,743290
13-14	1,13	26	150	0,977656	125	0,615174
11-13	0,36	10	150	0,992827	150	0,856600
Σ	14,29	320				

В таблице 2 приведены значения веса g_i и значимости z_i участков этой же сети. Затем вычислены величины вероятности отказов $Q_{\text{ив}}$ и вероятности безотказной работы $P_{\text{ив}}$ участков с учетом их веса и значимости.

Таблица 2. Результаты расчета показателей надежности участков кольцевой сети с учетом значимости и веса (для $t=1$ год; для чугуна $\lambda = 0,43$ (1/км · год), для полиэтилена $\lambda = 0,02$ (1/км · год))

Table 2. Results of calculation of reliability indicators of loop network sections taking into account significance and weight (for $t=1$ year; cast iron $\lambda = 0,43$ (1/кpy), for polyethylene plastics $\lambda = 0,02$ (1/кpy))

Показатели трубопр-да	Для полиэтиленовых труб				Для чугунных труб			
	Z_i	g_i	$Q_{\text{ив}}$	$P_{\text{ив}}=1-Q_{\text{ив}}$	Z_i	g_i	$Q_{\text{ив}}$	$P_{\text{ив}}=1-Q_{\text{ив}}$
№ уч.	2	3	4	5	6	7	8	9
1-2	0,090	0,0688	$1,73 \cdot 10^{-3}$	0,99827	0,100	0,0688	0,031862	0,96814
1-7	0,090	0,0625	$1,34 \cdot 10^{-3}$	0,99866	0,100	0,0625	0,025681	0,97432
6-7	0,058	0,0688	$1,31 \cdot 10^{-3}$	0,99869	0,069	0,0688	0,02485	0,97515

Продолжение таблицы 2

Continuation of table 2

2-6	0,058	0,0656	$1,08 \cdot 10^{-3}$	0,99892	0,069	0,0656	0,021272	0,97873
5-6	0,058	0,0156	$2,94 \cdot 10^{-5}$	0,99997	0,044	0,0156	0,000508	0,99949
4-5	0,058	0,0625	$9,68 \cdot 10^{-4}$	0,99903	0,044	0,0625	0,015660	0,98434
3-4	0,090	0,0469	$6,87 \cdot 10^{-4}$	0,99931	0,099	0,0469	0,014215	0,98578
2-3	0,090	0,0563	$1,03 \cdot 10^{-3}$	0,99898	0,099	0,0563	0,020319	0,97968
5-10	0,058	0,0469	$4,55 \cdot 10^{-4}$	0,99955	0,069	0,0469	0,009898	0,99010
10-11	0,033	0,0281	$7,05 \cdot 10^{-5}$	0,99993	0,025	0,0281	0,001287	0,99871
11-12	0,033	0,0563	$6,11 \cdot 10^{-4}$	0,99939	0,025	0,0563	0,010421	0,98958
4-12	0,058	0,0688	$1,38 \cdot 10^{-3}$	0,99862	0,044	0,0688	0,021291	0,97871
7-8	0,058	0,0688	$1,25 \cdot 10^{-3}$	0,99874	0,069	0,0688	0,024078	0,97592
8-9	0,058	0,0438	$2,34 \cdot 10^{-4}$	0,99977	0,044	0,0438	0,00414	0,99586
9-10	0,033	0,0813	$1,49 \cdot 10^{-3}$	0,99851	0,025	0,0813	0,023051	0,97695
9-14	0,022	0,0469	$3,26 \cdot 10^{-4}$	0,99967	0,025	0,0469	0,006655	0,99335
13-14	0,022	0,0813	$1,30 \cdot 10^{-3}$	0,99870	0,025	0,0813	0,022455	0,97755
11-13	0,033	0,0313	$8,32 \cdot 10^{-5}$	0,99992	0,025	0,0313	0,001526	0,99847
Σ	1,000				1,000			

Согласно первой таблице наименьшую надежность имели участки 9-10, 13-14, 1-2 и 4-12. Однако, после проведения оценки надежности с учетом функциональной загруженности участка, можно сделать выводы, что наибольшую степень опасности отказов из-за недостаточной функциональной обеспеченности имеет участок 1-2, в меньшей степени – участки 1-7, 6-7, 7-8 и 8-9.

Сравнение данных таблиц 1 и 2 показывает, что учет влияния веса и значимости участков приводит к повышению чисел, характеризующих вероятности безотказной работы участков.

ВЫВОДЫ

Данный метод оценки надежности дает возможность отобразить влияние значимости и веса участка в зависимости от преобладающей функции трубопровода в сети, а также найти необходимый баланс между капитальными затратами и будущими экономическими выгодами при эксплуатации, с точки зрения резерва полезного живого сечения труб. Предложенный математический подход в оценке надежности позволяет более эффективно направить финансирование на те элементы сети водоснабжения, ремонт и строительство которых окажет наибольшую эффективность в рамках экономических вложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аугусти Г., Баратта А., Кашиати Ф. Вероятностные методы в строительном проектировании. М.: Стройиздат, 1988. 584 с.
2. Алексеев М.И., Ермолин Ю.А. О методологии исследования надежности стареющих элементов систем водопровода и канализации // Водоснабжение и санитарная техника. 2002. № 9. С. 2 – 4.
3. Гальперин Е.М. Расчет кольцевых водопроводных сетей с учетом надежности функционирования. Саратов: Издательство Саратовского университета. 1989. 104 с.
4. Горопашная А.В. Адаптация логико-вероятностных методов оценки веса, зависимости, вклада, ущерба и активности элементов для немонотонных логических функций. // InternationalScientificSchool. Modeling and Analysis of Safety and Risk in Complex Systems, MA SR-2007. S.-Petersburg, Russia. September 4-8, 2007. Pp.409 – 412.
5. Гмурман В.Е. Теория вероятности и математическая статистика. М.: Высшая школа. 2003. 479 с.
6. Доронина Ю.В., Рябовая В. О. Метод модернизации информационных систем экологического мониторинга на основе анализа их функциональной нагрузки. Санкт-Петербург: Тр. СПИИРАН. 2016. № 44. С. 133 – 152

7. Журба М. Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: издание второе, переработанное и дополненное // Учебное пособие. Том 1. М.: Издательство АСВ. 2004. 288 с.

8. Ильин Ю. А. Надежность водопроводных сооружений и оборудования. М.: Стройиздат. 1985. 240 с.

9. Ионин, А. А. Надежность систем тепловых сетей. М.: Стройиздат. 1989. 265 с.

10. Kołowrocki K., Tchórzewska-Cieślak B., Piegdoń I. Modelling reliability of water supply network // Journal of Polish Safety and Reliability Association. 2015. pp.125 – 133.

11. Круценюк И.Ю. Информационная система расчета, прогнозирования и управления состоянием системы водоснабжения НПР // Социально-экономическое развитие Норильского промышленного района и Таймыра: Материалы региональной научно-практической конференции (20-22 апреля 2004г.). Норильск: Норильский индустр. институт. 2004. С. 108 – 111.

12. Круценюк И.Ю. Математические методы получения численных показателей надежности простейших комбинаций элементов системы ТВС г. Норильска // Информационная среда вуза: Материалы XI Междунар. науч.- техн. конф. Иваново: Иван. Гос. архит.-строит. Акад. 2004. С. 531 – 535.

13. Найманов А.Я. Особенности оценки надежности кольцевой водопроводной сети // Водоснабжение и санитарная техника. 2006. №12. С. 11 – 16.

14. Найманов А.Я., Насонкина Н.Г., Маслак В.Н., Зотов Н.И. Основы надежности инженерных систем коммунального хозяйства. Донецк: ИЭП НАН Украины. 2001. 152 с.

15. Новохатный В.Г. Водопроводные сети и сооружения. Киев.: УМК — ВО. 1989. 107 с.

16. Новохатный В.Г., Калюжный А. П. Принципы зонирования и локализации систем оборотного водоснабжения // Новосибирск: Санитарная техника. Известия вузов. Строительство. 2000. N 9. С. 77 – 81.

17. Панов М. Я., Петров Ю. Ф., Щербатов В. И. Модели управления функционированием систем подачи и распределения воды. – Воронеж: Воронежский ГАСУ. 2013. 271 с.

18. Рябинин, И. А., Черкесов, Г. Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. М.: Радио и связь. 1981. 264 с.

19. Самойленко, Н. И., Сенчук, Т. С. Функциональная надежность магистральных трубопроводных транспортных систем / Монография. Х.: Издательство «ХТМТ», ХНАГХ. 2009. 276 с.

Supply and Sewerage Systems Reliability // Water supply and sanitary engineering. 2002. № 9. Pp. 2 – 4.

3. Galperin E.M. Calculation of loop water supply networks taking into account reliability of functioning. Saratov: Publishing house of the Saratov university. 1989. 104 p.

4. Goropashnaya A.V. Adaptation of logic-probabilistic methods of weight estimation, dependence, contribution, damage and activity of elements for non-monotonic logical functions // International Scientific School. Modeling and Analysis of Safety and Risk in Complex Systems, MA SR-2007. S.-Petersburg, Russia. September 4-8, 2007. Pp.409 – 412.

5. Gmurman V.E. Probability theory and mathematical statistics. Moscow.: Visshayashkola. 2003. 479 p.

6. Doronina Yu. V., Ryabovaya V.O. Method of modernization of environmental monitoring information systems based on analysis of their functional load. S.-Petersburg: Trudy SPIIRAN. 2016. № 44. Pp. 133 – 152.

7. Jurba M.G. Water supply. Design of systems and structures: second edition, revised and supplemented // Training manual. Volume 1. Moscow: Publishing house ASB. 2004. 288 p.

8. Il'in Yu.A. Reliability of water supply facilities and equipment. Moscow: Stroyizdat. 1985. 240 p.

9. Ionin A.A. Reliability of thermal network systems. Moscow: Stroyizdat. 1989. 265 p.

10. Kołowrocki K., Tchórzewska-Cieślak B., Piegdoń I. Modelling reliability of water supply network // Journal of Polish Safety and Reliability Association. 2015. pp.125 – 133.

11. Krucenyuk I.Yu. Information System of Calculation, Forecasting and Management of the Water Supply System of NID // Socio-Economic Development of Noril Industrial District and Taimyr: Materials of the Regional Scientific and Practical Conference (20-22 April 2004г.). Norilsk: Norilsk industrial institute. 2004. Pp. 108 – 111.

12. Mathematical methods of obtaining numerical reliability indicators of the simplest combinations of elements of the dead-end water supply network system in Norilsk // Information environment of the university: Materials of the XI International Scientific and Technical Conference. Ivanovo: Ivan. State Architect. and Construction Academy. 2004. Pp. 531-535.

13. Naimanov A.Ja. Features of reliability assessment of the loop water supply network // Water supply and sanitary engineering. 2006. №12. Pp. 11 – 16.

14. Naimanov A.Ja., Nasonkina N.G., Maslak V.N., Zotov N.I. Foundations of utilities engineering systems reliability. Donetsk: IIE NAS of Ukraine. 2001. 152 p.

15. Novohatny V.G. Water supply networks and structures. Kiev: UMK — VO. 1989. 107 p.

16. Novohatny V.G., Kalyujniy A.P. Principles of zoning and localization of recirculated water supply systems // Novosibirsk: Sanitary equipment. News of higher educational institutions. Construction. 2000. № 9. Pp. 77 – 81.

REFERENCES

1. Augusti G., Baratta A., Kashiati F. Probabilistic methods in construction design. Moscow: Stroyizdat. 1988. 584 p.

2. Alexseev M.I., Ermolin Yu.A. About the Investigation Methodology of Aging Elements of Water

17. Panov M.Ya., Petrov Yu.F., Shcherbatov V.I. Water supply and distribution systems functioning control models. – Voronezh: Voronezh State Architectural and Construction. 2013. 271 p.
18. Ryabinin I.A., Cherkesov G.N. Рябинин, И. А., Черкесов, Г. Н. Logic-probabilistic methods of investigation of reliability of structural-complex systems. / Moscow: Radio isvyaz. 1981. 264 p.
19. Samoylenko N.I., Senchuk T.S. Functional reliability of main pipeline transport systems/ Monograph. Kharkiv: Publishing house «HTMT», KNAUE. 2009. 276 p.

RELIABILITY ASSESSMENT OF WATER DISTRIBUTION SYSTEMS TAKING INTO ACCOUNT ADDITIONAL PARAMETERS

Turchina G.S.

Summary. The article presents the results of the work on the study of reliability assessment of water supply and distribution systems. Possible ways of taking into account the additional impact of the constructional, operational and structural components of water supply networks were identified. This article provides an overview of the mathematical approach that can be used to determine the effect on the reliability parameters from the functional load of pipelines. According to the regulatory requirements, the amount of water supplied by the network, in case of breakage on one of the pipe sections, should not decrease by more than 30%. At the same time, for the normal functioning of the water supply and distribution system, it is necessary to ensure not only the intake of water by consumers, but also its transit through pipes to other section. It is quite likely that in case of pipe failure, there is not only a failure in water supply on it, but also a decrease in the amount of water supplied in other pipelines, structurally dependent on the trouble section. In this regard, the possibility of identifying "weaknesses" in the network in terms of functional reliability was explored. Consideration is also given to the possibility of taking into account the unequal influence caused by the disconnection of various network elements. For example, in the article calculated the reliability of the water supply and distribution loop using the proposed mathematical approach. Water supply networks are presented in two versions: cast iron and polyethylene. Based on the calculation, tables with research results and conclusions on the investigated water supply network were provided.

Subject: Scientific justification of mathematical approach in solving problems of reliability of engineering systems taking into account importance of its individual elements. And assessing the impact of various factors on the calculation of the system as a whole, in this article - from the point of view of functional reliability.

Materials and methods: Pipeline reliability parameters are found according to formulas of exponential law of component failure distribution. Finding data without regard to pipeline significance is done using probability theory. In assessing the reliability of water distribution system pipelines, a mathematical approach is applied with the possibility of taking into account the effect of functional load.

Results: As an example of the proposed calculation method, a water supply and distribution system was presented. When solving the task of determining reliability parameters, the calculation was carried out without assessing the importance of network elements (Table 1) and taking into account the effect of the functional load of pipelines (Table 2). When comparing the data from Tables 1 and 2, it can be seen that in the second case the values of the reliability parameters of the sections are higher than in the first case. However, more importantly, in this way it is possible to find network pipelines that fail to cope with the required functional load.

Conclusions: This article provides an overview of how to find the functional component of reliability evaluation. This method of reliability calculation allows to identify areas that have a high degree of danger to the network due to their disconnection, in terms of functional load, and need increased attention. Also, with this mathematical approach, it is possible to determine which of the network configurations is more reliable from the point of view of providing live section of pipes, transit and water intake from the network. This, in turn, allows to more economically distribute works on repair and laying of new pipes, from the position of both already having networks, and those that are on preliminary assessment of the project.

Key words: Reliability, water supply network, probability of faultless work, transport and distribution functions of loop water supply network pipelines, coefficient of readiness.

УДК 697.94

РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ПОТЕНЦИАЛУ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК, ЗАКЛЮЧЕННЫХ В ЕДИНЫЙ КОНТУР

О.В. Аверьянова

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Политехническая, д. 29, Санкт-Петербург, 195251, olesyaav@yandex.ru

Аннотация. В статье представлена карта районирования Российской Федерации, включая республику Крым, по показателю относительной эффективности комплексного технического решения системы отопления и кондиционирования с единым контуром теплонасосных установок. Удельный показатель относительной эффективности представленного решения рассчитан в соответствии с методикой расчета годового энергопотребления внутренних инженерных сетей с одновременным учетом тепло-и электроснабжения. Рассмотрены традиционная система с нагревательными приборами и фанкойлами и эффективная система с одноконтурными теплонасосными агрегатами. Приведено описание методики расчета годового энергопотребления этих систем. Предложена блок-схема расчета годового энергопотребления для традиционной системы и системы с единым контуром теплонасосных установок. Предложенные карта и методика могут быть рекомендованы для использования в качестве инструмента выбора принципиального решения системы отопления и кондиционирования.

Предмет исследования: Предметом исследования является энергопотребление (теплоты и электроэнергии) инженерной системы с единым контуром теплонасосных установок. Крупные объекты промышленного и гражданского назначения характеризуются наличием вторичных источников тепловыделений, энергию которых можно использовать. Для этого применяются различные устройства, в частности – теплонасосные установки. В настоящее время практически отсутствуют научно-обоснованные методики проведения расчета энергопотребления с одновременным учетом теплоты и электроэнергии внутренними сетями объектов, позволяющие выбрать наилучшее решение внутренних инженерных систем.

Материалы и методы: Проведенные исследования базировались на сочетании расчетных методов, основанных на фундаментальных термодинамических, физико-химических и технических представлениях о тепловых процессах в энергетических установках промышленной теплоэнергетики. А также численного моделирования энергопотребления внутренних инженерных сетей и анализа результатов натурных наблюдений за реальным объектом.

Результаты: Приведенная методика позволяет рассчитывать значения удельного показателя относительной эффективности применения инженерных систем с единым контуром теплонасосных установок для Российской Федерации. Карта районирования Российской Федерации по значению удельного показателя относительной энергоэффективности применения таких систем с единым контуром теплонасосных установок позволяет выбрать области эффективного использования теплонасосных установок на карте Российской Федерации.

Выводы: Сравняются две схемы систем поддержания температурных режимов на действующем объекте: реализованная схема с единым контуром теплонасосных установок и традиционная схема, включающая систему отопления, контур охлаждения с вентиляторными температурными доводчиками и холодильную машину. Расчет годового энергопотребления производился по значению общего поставленного количества энергии (теплоты и электроэнергии) по предложенной методике. Полученное количество полного годового энергопотребления, выраженное в единицах теплоты - 248 007 кВт·ч за год, что на 113 356 кВт·ч меньше, чем при применении традиционного решения. Натурные экспериментальные измерения на объекте показали, что количество теплоты, потребляемой выбранной зоной объекта от городских тепловых сетей в течении года составила 8200 кВт·ч за год, а годовое количество потребленной теплоты, посчитанное по предложенной методике составила 8358 кВт·ч за год. Таким образом, количества теплоты, потребляемой выбранной зоной объекта, полученные расчетным путем в соответствии с предлагаемой методикой и экспериментально, качественно совпали с погрешностью 2%. По карте районирования Российской Федерации по значению удельного показателя относительной энергоэффективности применения сетей с единым контуром теплонасосных установок было установлено, что для области, к которой относится город Санкт-Петербург, ожидаемая экономия полного годового энергопотребления от применения этой сети по сравнению с традиционной схемой, включающей систему отопления, контур охлаждения с вентиляторными температурными доводчиками и холодильную машину, составит как минимум 20%. После проведенных расчетов в соответствии с предложенной методикой значение величины удельного показателя относительной эффективности N (ф.1) для рассмотренного объекта составило 31%. Расчетная экономия на 11% выше ожидаемой в соответствии с картой районирования Российской Федерации. Таким образом, подтверждена применимость в инженерной практике данной методики и составленной карты в целях сбережения энергетических ресурсов систем и установок, одновременно использующих теплоту и электроэнергию.

Ключевые слова: тепловой насос, энергоэффективность, методика расчета, карта районирования Российской Федерации, системы отопления и кондиционирования.

ВВЕДЕНИЕ

В отечественной практике проектирования систем отопления и кондиционирования зданий и сооружений ведется поиск новых и актуальных методик расчета энергоэффективности.

Снижение расходов энергии в них основывается на комплексном учете факторов, определяющих возможности экономии. Среди них - расчет потоков энергии и вещества внутри зданий и на границах ограждающих конструкций, с дальнейшим их перераспределением. Определенные возможности для этого открываются при обоснованном применении тепловых насосов.

Применение теплонасосных установок на крупных объектах промышленного и гражданского назначения позволяет существенно снизить удельные затраты на производство энергетических ресурсов и повысить эффективность их использования за счет применения энергосберегающих технологий.

Существующая практика проектирования инженерных систем с использованием теплонасосных установок не учитывает региональных климатических условий, удельных тепловых нагрузок на сети тепло- и холодоснабжения, тарифы на энергоносители и т.д. Это негативно сказывается на общей эффективности работы и на размерах вложений инвестиций в подобные сети.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Снижение потребления тепловой энергии инженерными системами в зданиях основано на комплексном учете факторов. К таким факторам относятся: тепловая оптимизация архитектурных, строительных, светотехнических и технологических решений зданий; создание и использование более экономичных и совершенных систем теплоснабжения и вентиляции и оборудования для них; совершенствование технологических процессов, осуществляемых в зданиях и влияющих на энергетические затраты систем обеспечения параметров микроклимата; рекуперация тепла вентиляционных выбросов и сточных вод в зданиях; более полное использование вторичных тепловых ресурсов промышленных предприятий для удовлетворения энергетических потребностей в отоплении, вентиляции, кондиционировании и горячем водоснабжении; широкое использование возобновляемых источников энергии.

Существует множество способов удовлетворения этих требований [1] [2].

Первым способом обеспечения энергосбережения при эксплуатации зданий является значительное повышение теплового сопротивления ограждающих конструкций зданий за счет применения теплоизоляции, усовершенствованных конструкций и технологий. Например, одной из энергосберегающих технологий, широко применяемых в строительстве,

является использование вентилируемых фасадных систем[3][4][5][6]. Применение конвективного теплообмена для вытеснения воздушных масс в системах вентиляции без механической тяги (интеграция двойного кожного фасада с системами ОВК здания) имеет реальную практическую перспективу для повышения энергоэффективности здания.

Если здания имеют наружные ограждающие конструкции с высокой теплоизоляцией, то необходимое тепло для обогрева приточного воздуха составляет до 80% тепловой нагрузки на систему отопления[7]. При проектировании энергоэффективных зданий важно не только добиться сбалансированного энергопотребления, но и обеспечить высокие показатели качества помещений и теплового комфорта, а также минимизировать воздействие на окружающую среду[8].

Политика в области энергосбережения и сокращения выбросов углекислого газа стимулировала использование эффективных технологий в строительстве систем теплового кондиционирования, таких как тепловые насосы с геотермальными источниками[9]. Система теплового насоса подземных вод (GWHP) непосредственно использует стабильную температуру подземных вод для охлаждения и обогрева зданий или районов [10]. Среди этих технологий, использующих природные энергии, теплонасосные системы (ТЭС) известны как замечательный вид возобновляемых источников энергии, которые широко используются для обеспечения необходимого отопления, охлаждения зданий и сооружений [11]. Среди таких систем, использующих тепловые насосы, можно выделить распределенную теплонасосную систему, которая может использовать различные возобновляемые источники энергии для удовлетворения различных потребностей в отоплении и охлаждении зданий[12]. Например, в работе [13] был использован шаблон “энергетический хаб” для проектирования комбинированных сетей отопления и охлаждения, в которых тепловые насосы могут использоваться для рекуперации тепла из контура охлаждения и подачи его в контур отопления. Отопительные и охлаждающие нагрузки сети могут быть удовлетворены котлами на природном газе, электрическими котлами, чиллерами и тепловыми насосами. В том числе может быть использована низкосортная энергия из морской воды для удовлетворения потребностей в отоплении/охлаждении прибрежных зданий [14]. Такие системы являются эффективными системами для повышения энергоэффективности и снижения выбросов газов зданий, которые могут обеспечить как охлаждение, так и отопление здания за счет обратимой способности [15][16]. Это обусловлено техническими особенностями теплового насоса, в частности, возможностью преобразования тепла низкопотенциальных источников в тепло высокого

потенциала и использования его в тепловых системах.

В настоящее время отсутствуют инструменты, позволяющие делать обоснованный выбор систем с единым контуром теплонасосных установок. Таким инструментом может быть карта районирования по потенциалу применения таких систем.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Карта районирования была составлена в соответствии с базой климатических данных по районам страны. База содержит необходимые в дальнейших расчетах значения теплоты, поступающей на поверхность ограждения за счет солнечной радиации в сочетании с температурами

наружного воздуха в течение календарного года.

Перечисленные параметры получены путем анализа данных «Научно-прикладного справочника по климату СССР», причем наибольший интерес для решения поставленной задачи представили его части 1, 2 и 4.

Последовательность расчета энергопотребления внутренних инженерных систем осуществлялось в соответствие с блок-схемой расчета [17-19] энергопотребления внутренних инженерных сетей с одновременным учетом теплоты и электроэнергии для сетей с теплонасосными установками, включенными в единый гидравлический контур, и для традиционных сетей с приборами отопления и вентиляторными температурными доводчиками (рис. 1).

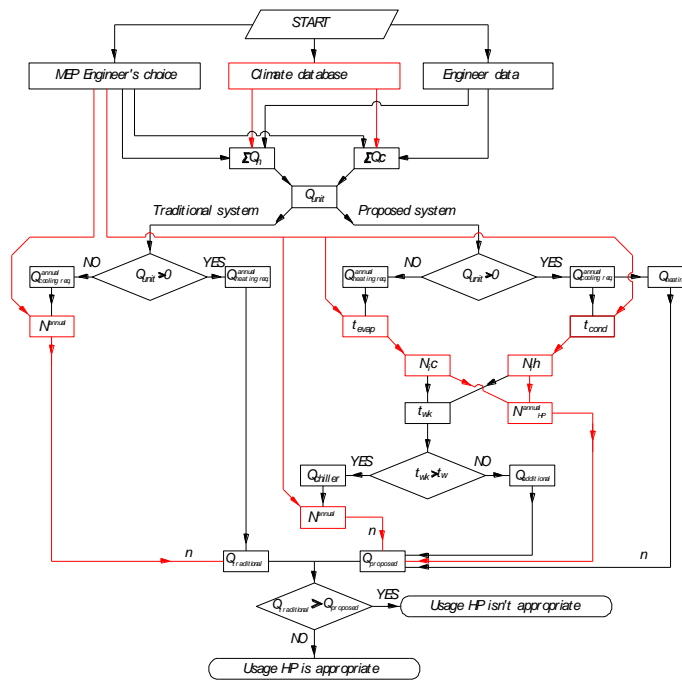


Рис.1. Блок-схема расчета энергопотребления внутренних инженерных систем (отличие от ранее существующих методов дополнительно подчеркивается красным цветом).

Fig. 1. The flowchart of calculation of energy consumption of internal engineering systems (the difference from the previously current methods is emphasized in addition by red colour).

В соответствие с этой методикой расчета годового энергопотребления можно определить значение величины удельного показателя относительной эффективности N для предварительной оценки целесообразности применения тепловых сетей с единым контуром теплонасосных установок по сравнению с традиционными схемными решениями:

$$N = 1 - \frac{Q_{proposed}}{Q_{traditional}}, \quad (1)$$

где $Q_{proposed}$ - общее вводимое количество энергии для объекта расчета в случае реализации на

нем предлагаемой системы с единым контуром теплонасосных установок, в качестве предлагаемой системы, применяемой одновременно для обогрева и отвода теплоизбытков на объекте, рассматривается система с единым контуром теплонасосных установок. Электрическая энергия расходуется на привод компрессорного оборудования теплонасосных установок;

$Q_{traditional}$ - общее вводимое количество энергии для объекта расчета в случае реализации на нем традиционной системы. Под традиционной системой для обогрева объекта понимается система с приборами отопления, включенными в первый гидравлический контур и потребляющая только теплоту. Для удаления теплоизбытков на объекте

рассматривается система с вентиляторными доводчиками, включенными во второй гидравлический контур. Электрическая энергия расходуется на привод компрессоров холодильного оборудования.

Общее поставленное количество энергии рассчитано для 1 м² ограждающей конструкции,

светопрозрачная часть которой составляет 85%, полные теплопоступления не учитывались.

Полученные значения N располагались в пределах от 1,15% до 87,58%. Они были нанесены на карту России (рис. 2).

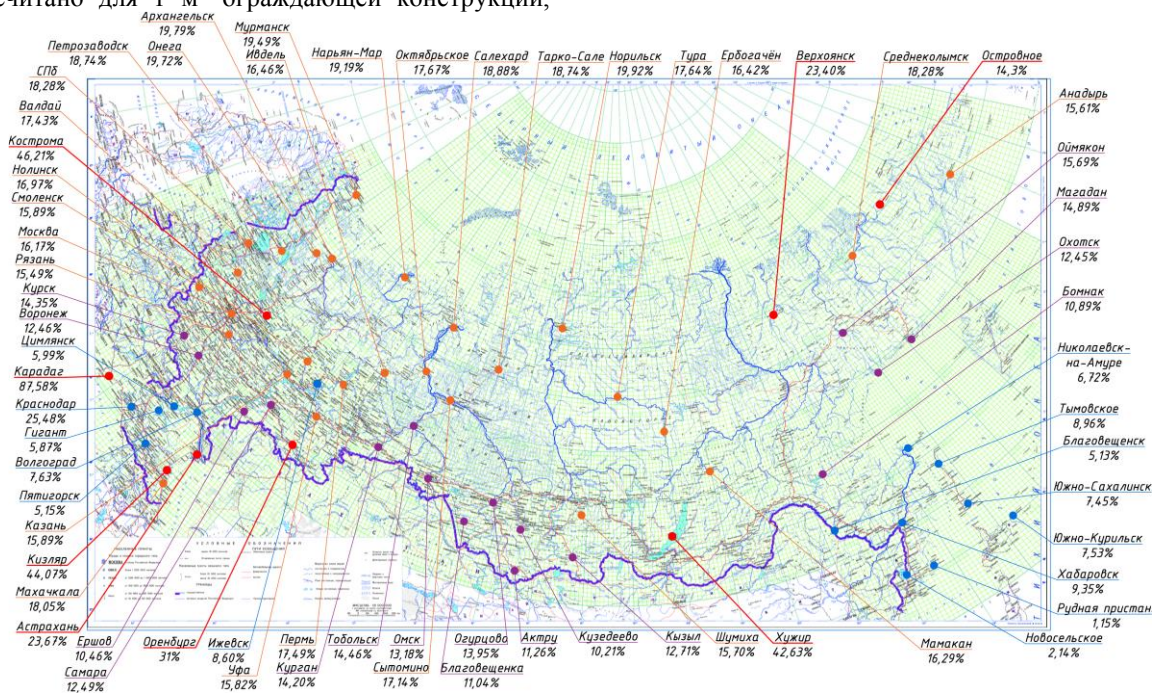


Рис.2. Значения удельного показателя N на карте России.
Fig. 2. Values of specific index N on the map of Russia.

Таким образом, было выделено четыре основных диапазона - до 10%, от 10% до 15%, от 15% до 20% и более 20%. На карте единым цветом выделены районы, имеющие одинаковые значения N (рис.3).

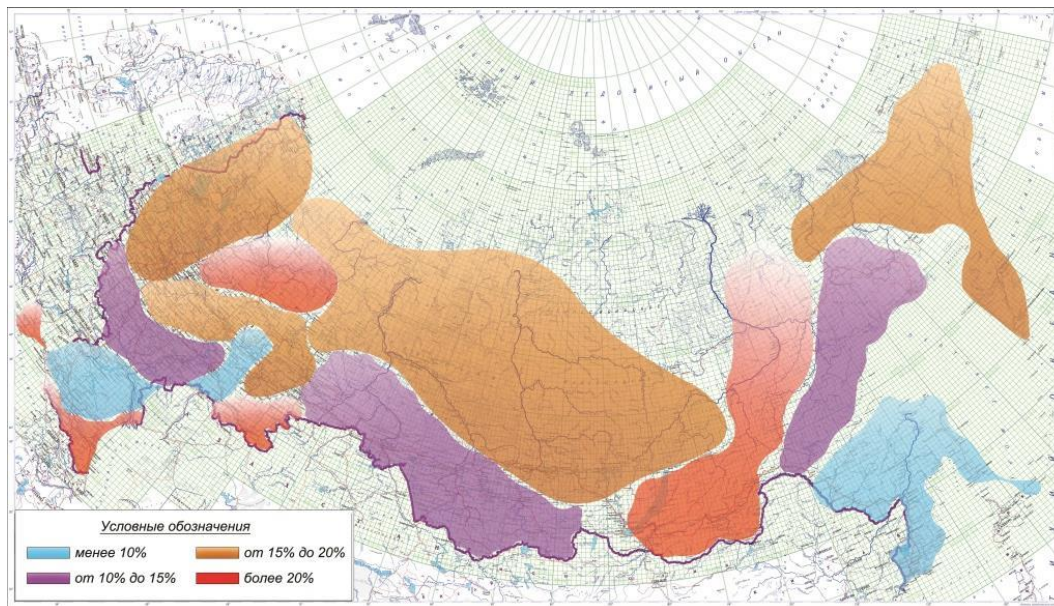


Рис.3. Карта Российской Федерации по потенциалу применения сетей с единым контуром теплонасосных установок.
Fig. 3. Map of the Russian Federation on the potential opportunity using of systems with water loop heat pump.

При помощи этой карты инвестор, заказчик или проектант могут сделать предварительное заключение о применимости инженерных сетей с единым контуром теплонасосных установок в конкретном географическом пункте. Например, при размещении объекта в районе со значением N менее 0,1 экономия удельного годового энергопотребления на единицу площади ограждающих конструкций составит до 10% без учета других факторов. В этом случае при наличии на объекте дополнительных внутренних теплопоступлений будет полезно проводить дальнейшие детальные расчеты годового энергопотребления.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Для иллюстрации предложенных подходов проведено исследование энергопотребления инженерных систем с единым контуром теплонасосных установок на крупном объекте. Этот объект является одним из крупнейших торгово-развлекательных центров Санкт-Петербурга. Его общая площадь составляет 80 000 квадратных метров. И есть система кондиционирования воздуха с тепловыми насосами, которые имеют различную производительность и включены в единый водяной контур в этом здании.

Как правило, торгово-развлекательные центры являются интенсивными потребителями энергии из-за высокого спроса на электроэнергию, в основном за счет холодильных установок. Благодаря этому для таких объектов используется интегрированная система кондиционирования, охлаждения и водяного контура теплового насоса [20].

В зависимости от запроса такая инженерная система или отводит теплоизбытки из помещений и нагревает теплоноситель в водяном контуре, или из водяного контура извлекает теплоту и передает ее в помещения.

Для наглядности выбрана зона в ТРК «Радуга», максимально отвечающая следующим требованиям:

1. Наличие массивных наружных ограждающих конструкций и остекления, пропускающего солнечную радиацию, в массивных ограждающих конструкциях;

2. Наличие технической возможности выделения части единой гидравлической системы для проведения эксперимента и установки приборов, позволяющих задокументировать измеряемые параметры теплоносителя (объем, температура и давление), циркулирующего в этом ответвлении.

Зона, отвечающая перечисленным требованиям, представляет собой помещение для приема пищи, приобретенной в ресторанах быстрого питания. Конфигурация ответвления от общего единого контура к обслуживающим данную зону ТНУ позволяет рассматривать его как условно автономную систему и дает возможность провести эксперимент. Для этого на подающем и обратном трубопроводе ответвления от общей системы был установлен узел учета, состоящий из следующего

оборудования: тепловычислитель СПТ943, два расходомера на подающем и обратном трубопроводах; комплект термопреобразователей сопротивления; два преобразователя давления.

С помощью приборов, установленных на ответвлении от единого контура ТНУ в зону ресторанов быстрого питания, определяются следующие величины: полученная теплота; суммарные объемы полученного теплоносителя по подающему трубопроводу и возвращенного по обратному трубопроводу; объемы полученного теплоносителя по подающему трубопроводу и возвращенного по обратному трубопроводу за каждый час; среднечасовое и среднесуточное значение температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах.

Тепловычислитель обеспечивал измерение объема, температуры и давления. Он осуществляет вычисление количества теплоты, массы и средних значений температуры и давления, а также часовые, суточные и месячные значения теплоты, массы, объема, средней температуры, средней разности температур и среднего давления. Перечисленные параметры рассчитывались по встроенным алгоритмам и передавалась на переносной компьютер, подключаемый к оптическому порту с помощью адаптера.

На основании проведенных замеров в течение одного года полученные суммарные значения затрачиваемого выбранной зоной объекта количества теплоты, поступившей в сеть с единым контуром теплонасосных установок, составили 8200 кВт·ч за год.

Применив предложенный метод для выбранного объекта, установлено, что количество теплоты, потребляемой выбранной зоной объекта от городских тепловых сетей в течении года составила 8358 кВт·ч за год.

Оценка неопределённости значения потребленной теплоты вычислялась согласно Рекомендациям государственной системы обеспечения единства измерений по типу В. Таким образом, неопределённость значения потребленной теплоты составляет менее 1%.

В качестве валидации предлагаемого метода следует, что ошибка не превышает 2% по сравнению с результатом, полученным расчетным путем по предлагаемой методике.

Показано, что достигнутый в эксперименте метрологический уровень достаточен для того, чтобы считать результаты доказательными.

ВЫВОДЫ

1. В результате анализа опыта проектирования и применения внутренних инженерных сетей с единым контуром теплонасосных установок показано, что обоснованный выбор этих сетей затруднен из-за отсутствия методик расчета.

2. Впервые разработаны имитационная модель расчета энергопотребления внутренних

инженерных сетей с одновременным учетом теплоты и электроэнергии, позволяющей провести выбор сети с единым контуром теплоносных установок.

3. Рассчитаны значения удельного показателя относительной энергоэффективности применения сетей с единым контуром теплоносных установок для Российской Федерации, достигающие 50%. Выполнено районирование территории страны по показателю относительной энергоэффективности применения сетей с единым контуром теплоносных установок и составлена карта страны по потенциалу применения сетей с единым контуром теплоносных установок.

4. Установлена адекватность и применимость имитационной модели путем сопоставления натуральных и расчетных показателей потребления теплоты в течение года в крупном многофункциональном здании в г. Санкт-Петербург сетью с единым контуром теплоносных установок (в качестве температурных доводчиков отдельных помещений). Выявлено, что количество теплоты, потребляемой этим объектом от городских тепловых сетей в течении года составляет около 8 МВт·ч. А общее вводимое количество энергии, выраженное в тепловых единицах - 248 МВт·ч, что на 30% меньше, чем при применении традиционной сети.

5. Разработанная методика позволяет провести расчет потребления общей вводимой энергии и для традиционного схемного решения.

6. В дальнейших исследованиях целесообразно провести расчеты для других хладагентов и при других значениях полного перепада температуры; учесть электроэнергию для привода насосного оборудования, поддерживающего постоянный напор в гидравлических контурах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. E. Statsenko, A. Ostrovaia, T. Musorina, and N. Sergievskaya, *Adv. Intell. Syst. Comput.* **692**, 417 (2018)
2. E. Voskresenskaya, V. Snetkov, and A. Tebryaev, in *E3S Web Conf.* (2018)
3. M. R. Petrichenko, D. V Nemova, E. V Kotov, D. S. Tarasova, and V. V Sergeev, *Mag. Civ. Eng.* **77**, 47 (2018)
4. E. A. Statsenko, A. F. Ostrovaia, V. Y. Olshevskiy, and M. R. Petrichenko, *Mag. Civ. Eng.* **80**, 119 (2018)
5. M. R. Petritchenko, S. A. Subbotina, F. F. Khairutdinova, E. V Reich, D. V Nemova, V. Y. Olshevskiy, and V. V Sergeev, *Mag. Civ. Eng.* **73**, 40 (2017)
6. M. R. Petritchenko, E. V Kotov, D. V Nemova, D. S. Tarasova, and V. V Sergeev, *Mag. Civ. Eng.* **77**, 130 (2018)
7. D. Baranova, D. Sovetnikov, D. Semashkina, and A. Borodinecs, in *Procedia Eng.*, edited by L. J. Cui P. Zhang W. (Elsevier Ltd, 2017), pp. 503–510

8. D. Baranova, D. Sovetnikov, and A. Borodinecs, *Sci. Technol. Built Environ.* **24**, 982 (2018)

9. P. A. Gómez, I. R. Maestre, J. G. F. Gallero, and D. M. J. Baladés, *Appl. Mech. Mater.* **361–363**, 276 (2013)

10. D. K. Park, D. Kaown, and K.-K. Lee, *Renew. Energy* **145**, 585 (2020)

11. B. Igliński, R. Buczkowski, W. Kujawski, M. Cichosz, and G. Piechota, *Renew. Sustain. Energy Rev.* **16**, 2545 (2012)

12. M. Liu, R. Ooka, T. Hino, K. Wen, W. Choi, D. Lee, S. Ikeda, and D. R. Palasz, in *E3S Web Conf.*, edited by M. L. Z. H. N. I. T. S.-I. G. da S. M. C. C. G. I. C. Kurnitski J. Wargocki P. (EDP Sciences, 2019)

13. H. Ahmadisedigh and L. Gosselin, *Appl. Energy* **253**, (2019)

14. Z. Wu, S. You, H. Zhang, M. Fan, W. Zheng, Y. Wang, and Y. Zhang, *J. Energy Eng.* **145**, (2019)

15. E. Salazar-Herran, K. Martin-Escudero, A. G. Alleyne, L. A. del Portillo-Valdes, and N. Romero-Anton, *Appl. Therm. Eng.* **160**, (2019)

16. P. Tretyakova, in *MATEC Web Conf.*, edited by S. V Borodinecs A. Vatin N. (EDP Sciences, 2018)

17. Аверьянова О.В. Потенциал применения сетей с единым контуром теплоносных установок в Российской Федерации. // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2018. Т. 24. № 4. №. С. 106–117.

18. Аверьянова О.В., Куколев М.И. Расчет годового энергопотребления крупного объекта с тепловыми насосами, включенными в единый контур. // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2018. №6(198). С. 70-74

19. Аверьянова О.В. Методика определения энергоэффективности внутренних инженерных сетей с единым контуром теплоносных установок. //Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции. Сборник докладов VII Международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию со дня образования факультета. МГСУ. 2019

20. G. Coccia, P. D'Agaro, G. Cortella, F. Polonara, and A. Arteconi, *Appl. Therm. Eng.* **152**, 543 (2019)

REFERENCES

1. E. Statsenko, A. Ostrovaia, T. Musorina, and N. Sergievskaya, *Adv. Intell. Syst. Comput.* **692**, 417 (2018)
2. E. Voskresenskaya, V. Snetkov, and A. Tebryaev, in *E3S Web Conf.* (2018)
3. M. R. Petrichenko, D. V Nemova, E. V Kotov, D. S. Tarasova, and V. V Sergeev, *Mag. Civ. Eng.* **77**, 47 (2018)
4. E. A. Statsenko, A. F. Ostrovaia, V. Y. Olshevskiy, and M. R. Petrichenko, *Mag. Civ. Eng.* **80**, 119 (2018)
5. M. R. Petritchenko, S. A. Subbotina, F. F. Khairutdinova, E. V Reich, D. V Nemova, V. Y. Olshevskiy, and V. V Sergeev, *Mag. Civ. Eng.* **73**, 40 (2017)

6. M. R. Petritchenko, E. V Kotov, D. V Nemova, D. S. Tarasova, and V. V Sergeev, *Mag. Civ. Eng.* **77**, 130 (2018)
7. D. Baranova, D. Sovetnikov, D. Semashkina, and A. Borodinecs, in *Procedia Eng.*, edited by L. J. Cui P. Zhang W. (Elsevier Ltd, 2017), pp. 503–510
8. D. Baranova, D. Sovetnikov, and A. Borodinecs, *Sci. Technol. Built Environ.* **24**, 982 (2018)
9. P. A. Gómez, I. R. Maestre, J. G. F. Gallero, and D. M. J. Baladés, *Appl. Mech. Mater.* **361–363**, 276 (2013)
10. D. K. Park, D. Kaown, and K.-K. Lee, *Renew. Energy* **145**, 585 (2020)
11. B. Igliński, R. Buczkowski, W. Kujawski, M. Cichosz, and G. Piechota, *Renew. Sustain. Energy Rev.* **16**, 2545 (2012)
12. M. Liu, R. Ooka, T. Hino, K. Wen, W. Choi, D. Lee, S. Ikeda, and D. R. Palasz, in *E3S Web Conf.*, edited by M. L. Z. H. N. I. T. S.-I. G. da S. M. C. C. G. I. C. Kurnitski J. Wargocki P. (EDP Sciences, 2019)
13. H. Ahmadisedigh and L. Gosselin, *Appl. Energy* **253**, (2019)
14. Z. Wu, S. You, H. Zhang, M. Fan, W. Zheng, Y. Wang, and Y. Zhang, *J. Energy Eng.* **145**, (2019)
15. E. Salazar-Herran, K. Martin-Escudero, A. G. Alleyne, L. A. del Portillo-Valdes, and N. Romero-Anton, *Appl. Therm. Eng.* **160**, (2019)
16. P. Tretyakova, in *MATEC Web Conf.*, edited by S. V Borodinecs A. Vatin N. (EDP Sciences, 2018)
17. Аверьянова О.В. Потенциал применения сетей с единым контуром теплонасосных установок в Российской Федерации. // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2018. Т. 24. № 4. №. С. 106–117.
18. Аверьянова О.В., Куколев М.И. Расчет годового энергопотребления крупного объекта с тепловыми насосами, включенными в единый контур. // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2018. №6(198). С. 70-74
19. Аверьянова О.В. Методика определения энергоэффективности внутренних инженерных сетей с единым контуром теплонасосных установок. //Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции. Сборник докладов VII Международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию со дня образования факультета. МГСУ. 2019
20. G. Coccia, P. D’Agaro, G. Cortella, F. Polonara, and A. Arteconi, *Appl. Therm. Eng.* **152**, 543 (2019)

ZONING OF THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION ON THE POTENTIAL OF USING WATER LOOP HEAT PUMP SYSTEMS

Averianova O.V.

Summary The article presents a map of the zoning of the Russian Federation, including the Republic of Crimea, in terms of the relative efficiency of the complex technical solution of the heating and air conditioning system with a water loop heat pump systems. The specific indicator of relative efficiency of the presented solution is calculated in accordance with the method of calculating the annual energy consumption of internal engineering systems with simultaneous consideration of heat and power supply. The traditional system with heating devices and fan coils and an effective system with water loop heat pump are considered. A description of the methodology for calculating the annual energy consumption of these systems is given. The flowchart of calculation of energy consumption of internal engineering systems is proposed. The proposed map and methodology can be recommended for use as a tool for selecting the principal solution of the heating and air conditioning system..

Subject: The subject of the study is the energy consumption (heat and electricity) of an engineering system with a water loop heat pump. Large industrial and civil facilities are characterized by the presence of secondary sources of heat, the energy of which can be used. For this purpose various devices, in particular – heat pumps are applied. Currently, there are practically no scientifically based methods for calculating energy consumption with simultaneous consideration of heat and electricity by internal systems of buildings, allowing to choose the best solution for internal engineering systems..

Materials and methods: The studies were based on a combination of computational methods based on fundamental thermodynamic, physical-chemical and technical concepts of thermal processes in power plants of industrial heat power engineering. As well as numerical modeling of energy consumption of internal engineering systems and analysis of the results of field observations of the real building.

Results: The given technique allows to calculate values of specific indicator of relative efficiency of application of engineering systems with a uniform contour of heat pump installations for the Russian Federation. The map of zoning of the Russian Federation on value of specific indicator of relative power efficiency of using of such systems with a uniform contour of heat pump installations allows to choose areas of effective use of heat pump installations on the map of the Russian Federation..

Conclusions: On the basis of the conducted researches the following conclusions can be drawn:

1. The presented method allows to calculate the values of annual energy consumption and to infer about the feasibility of using engineering systems with heat pump units included in a water loop for the Russian Federation.

2. It was compared two HVAC schemes: the traditional systems with heating devices and fan coil units with chillers and integrated HVAC, refrigeration and water loop heat pump system. The calculation of annual energy consumption was implemented according to the presented method. The total amount of energy supplied converted into the common heat unit of measurement - 248 007 kWhe in year. That is less than 113 356 kWhe in year than in the application traditional system.

3. Full-scale experimental measurements at the facility showed that the amount of heat consumed by the selected area of the facility from Sity Central Heat Systems during the year amounted to 8200 kWhe in year. The annual amount of heat consumed, calculated by the presented method was 8358 kWhe in year. Thus, the amount of heat consumed by the selected area of the object, obtained by calculation in accordance with the presented method experimentally and qualitatively coincided with an error of 2%.

Thus, the applicability of presented method in engineering practice for saving energy resources of systems and installations that simultaneously use heat and electricity is confirmed.

Key words: heat pump, energy efficiency, calculation method, zoning map of the Russian Federation, heating and air conditioning systems.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА УТЕПЛЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ

Гамаюнова О.С.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, e-mail: gamayunova@inbox.ru

Аннотация. В настоящее время для удешевления строительства некоторые застройщики применяют ограждающие конструкции из материалов с высокой теплопроводностью, тем самым снижая энергоэффективность зданий и сооружений. Еще больше это касается зданий, построенных эпоху советской массовой застройки, когда на первом плане были кратчайшие сроки и дешевизна строительства. В данной статье на примере домов массовой серии 1-447 был произведен теплотехнический расчет ограждающих конструкций в условиях различных климатических зон Российской Федерации, а также определен срок окупаемости инвестиций в утепление фасадов.

Ключевые слова: энергоэффективность, ограждающие конструкции, теплотехнический расчет, фасад, утеплитель, климатическая зона, инвестиции, окупаемость,

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных и важных направлений политики Российской Федерации является разработка и внедрение энергоэффективных и энергосберегающих технологий.

Выбор оптимального варианта утепления зданий и сооружений – непростая задача, универсальных методов ее решения не существует. Все зависит от конкретных условий: места расположения здания, материалов из которых оно построено, конструктивных особенностей и т. д.

Современные многоквартирные жилые дома возводятся в соответствии с теплотехническими требованиями. Однако стены домов, особенно массовых серий, возведенных еще в 1950-80 гг., ничем не утеплены. В то время было важно построить много жилья в кратчайшие сроки. Сейчас, когда энергетические ресурсы стоят дорого, утепление многоквартирного дома становится необходимостью. При выборе варианта утепления фасадов стоит учитывать не только конструктивные характеристики здания, но и климатические особенности региона строительства.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Вопросам разработки и внедрения энергоэффективных и энергосберегающих технологий посвящено большое количество исследований.

Так, методами повышения тепловой эффективности зданий и их экономической оценкой занимались Горшков А.С., Рымкевич П.П., Немова Д.В., Ватин Н.И., Никитин В.Д., Учнина Т.В., Бабичева Н.В., Адигамова З.С., Килязова Е.А. и др. [1-9],

Анализ научной литературы показывает, что обеспечение энергоэффективности ограждающих конструкций зданий и сооружений без применения новейших теплоизоляционных материалов и выбора их оптимальной толщины невозможно. Исследование теплоизоляционных материалов нашло свое отражение в работах Абрамяна С.Г., Михайловой Н.А., Котляревского А.А., Семочкина В.О. Пакуть М.В., Гавриловой А.Ю., Старцева Я.В., Филипповой Т.М. и др. [10 - 13].

Территория России – огромна, что позволяет ей занимать целых четыре климатических зоны и, дополнительно, пятую – особую климатическую зону (таблица 1). Особенности и принципам строительства энергоэффективных домов в различных климатических условиях посвящены работы Кравченко К.С., Слободчикова Е.Г., Рожина В.Н., Местникова А.Е., Окунцова И.И., Сычкиной Е.Н., Волоховой К.Е., Мурыгиной Л.А., Питык А.Н., Архиповой Е.С. и др. [14-15].

Вопросами оценки энергоэффективности энергосберегающих мероприятий при выполнении капремонта многоквартирных домов, в том числе, домов массовых серий, посвящены работы Ливчак В.И., Раевской А.А., Быкова А.О., Платицыной А.И., Артюховой В.С. и др. [16-21]

Таблица 1. Природно-климатические зоны России
Table 1. Natural and climatic zones of Russia

Природно-климатическая зона	Территории	Описание
1-я зона	Юг России	Теплые районы, средняя зимняя температура находится в районе -9,5 °С, летом может подниматься до +30 °С
2-я зона	Запад и Северо-Запад России, а также Приморский край	Средняя зимняя температура находится в районе -10 °С, летняя – примерно +25...+30 °С
3-я зона	Сибирь и Дальний Восток, за исключением нескольких северных районов, которые входят в 4-ю зону	Зимняя температура существенно холоднее, в среднем достигает -20...-18 °С. Летом температура в диапазоне +16...+20 °С. Ветренность низкая, скорость ветра редко превышает 4 м/с
4-я зона	Северные районы Сибири, Дальнего Востока и Урала, а также Якутия	Эти районы находятся ниже полярного круга. Зимняя температура – в районе -41 °С, летняя близка к 0 °С. Ветренность – не более 1,5м/с
Особая зона	Территории, которые находятся за полярным кругом, а также Чукотка	Зимняя температура находится в районе -25 °С, скорость ветра зимой может достигать 6,5 м/с

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью работы является выбор оптимального варианта утепления жилых домов с учетом условий различных климатических зон Российской Федерации.

Поставленная цель определила ряд более конкретных задач исследования:

- на примере домов серии 1-447 с помощью теплотехнического расчета ограждающих конструкций определить уровень энергоэффективности;
- в зависимости от условий различных климатических зон Российской Федерации определить оптимальный вариант утеплителя для домов указанной серии;
- определить срок окупаемости инвестиций в утепление фасадов.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Серия 1-447 (таблица 2, рисунок 1) присутствует абсолютно во всех регионах России, по распространенности среди кирпичных 5-этажек всех периодов она занимает первое место. Пятиэтажные дома серии 1-447 легко узнаваемы по необлицованным внешним стенам, двум рядам окон в торцевых сторонах (в основном без балконов), а также по прямоугольной форме корпуса при отсутствии выступов и угловых секций. Модификаций данной серии очень много.

Таблица 2. Основные характеристики домов серии 1-447

Table 2. Main characteristics of houses of a series 1-447

Регионы строительства	Территория бывшего СССР
Технология строительства	кирпичный дом
Период строительства	1958-1964 гг.
Количество этажей	5 (редких случаях 4 в Москве, 3 в других регионах)
Высота потолков	2,5 м
Санузлы	совмещенные
Мусоропровод	нет
Лифты	нет
Количество квартир на этаже	4
Внешние стены и облицовка	Наружные стены – кирпич семищелевой или пористо-дырчатый, толщиной 38-40 см (в ранних домах – до 51 см, но, как правило, в них использовался низкокачественный силикатный кирпич). В отдельных домах внешний слой наружных стен из кирпичных блоков. Внутренняя центральная продольная стена, межквартирные стены и стены лестничных клеток толщиной 27 (в ранних домах – 38 см). Облицовки нет.



Рис. 1. Дома серии 1-447
Fig. 1. Homes Series 1-447

Основные теплотехнические характеристики внешних стен домов серии 1-447 приведены в таблице 3.

Таблица 3. Теплотехнические характеристики внешних стен домов серии 1-447

Table 3. Thermotechnical characteristics of the external walls of houses of a series 1-447

Номер слоя	Материал	Толщина слоя (δ), м	Коэффициент теплопроводности (λ), $\frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$	Плотность (ρ), кг/м ³
1	Кирпич пустотелый двойной (семищелевой), 250 x 120 x 138 мм	0,38	0,57	1000 - 1450

В 2012 году введен в действие СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», который применяется при проектировании тепловой защиты строящихся или реконструируемых зданий, в которых нужно поддерживать определенный температурно-влажностный режим.

Используя приведенную методику, теплотехнические характеристики материала стеновой конструкции домов серии 1-447, а также климатические условия Санкт-Петербурга,

проведем теплотехнические расчет ограждающих конструкций.

Определим термическое сопротивление кирпичной стены:

$$R_0 = R_{int} + R_{ext} + \sum R_i = \frac{1}{23} + \frac{1}{8,7} + \frac{0,38}{0,57} = 0,825 \frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт}, \quad (1)$$

где R_{int} - сопротивление теплообмену на внутренней поверхности стены, $(м^2 \cdot ^\circ C)/Вт$,

R_{ext} - сопротивление теплообмену на наружной поверхности стены, $(м^2 \cdot ^\circ C)/Вт$,

$\sum R_i$ - сумма термических сопротивлений всех слоев ограждения, $(м^2 \cdot ^\circ C)/Вт$.

$$R_{int} = \frac{1}{\alpha_{int}}, \quad (2)$$

где α_{int} - коэффициент теплопередачи внутренней поверхности стены, $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$.

$$R_{ext} = \frac{1}{\alpha_{ext}}, \quad (3)$$

где α_{ext} - коэффициент теплопередачи внешней поверхности стены, $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$.

Определение норму тепловой защиты по условию энергосбережения (минимально допустимое термическое сопротивление ограждающей конструкции).

Градусо-сутки отопительного периода по СНиП 23-02-2003 определяются как:

$$D_d = (t_{int} - t_{ht})z_{ht} = (20 + 1,8) \cdot 220 = 4796^\circ C \cdot сут$$

Нормативное значение приведенного сопротивления теплопередаче следует принимать не менее нормируемых значений, определяемых по СНиП 23-02-2003 в зависимости от градусо-суток района строительства:

$$R_{req} = a \cdot D_d + b = 0,00035 \cdot 4796 + 1,4 = 3,0786 \frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт},$$

где: D_d - градусо-сутки отопительного периода в Санкт-Петербурге,

a и b - коэффициенты, принимаемые по СНиП 23-02-2003.

Теплотехнический расчет показал, что термическое сопротивление стены $R_0=0,825 (м^2 \cdot ^\circ C)/Вт$, что гораздо ниже требуемого ($R_{req}= 3,08 (м^2 \cdot ^\circ C)/Вт$). В связи с выявленным несоответствием необходимо дополнительно утеплить наружные стены рассматриваемого объекта жилищного строительства.

Определим минимально допустимое (требуемое) термическое сопротивление теплоизоляционного материала:

$$R_{targ} = R_{req} - R_0 = 3,08 - 0,825 = 2,25 \frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт} \quad (4)$$

На сегодняшний день на рынке строительных материалов доступно множество вариантов утеплителей, таких производителей, как: Knauf,

Isoroc, Isover, Rockwool, Paroc, Ursa, Эковер, Пеноплэкс, Технониколь, Vaswool и др. Термическое сопротивление представленных на рынке образцов варьируется от 0,03 до 0,044 Вт/(м·°C). На примере утеплителя, имеющего среднее из более 150 рассмотренных вариантов утеплителей значение коэффициента теплопроводности ($\lambda=0,037$ Вт/(м·°C)) определим толщину утеплителя, которая обеспечит требуемое термическое сопротивление стены:

$$\delta_{yt}^{req} = \lambda_{yt} \cdot R_{targ} = 0,037 \cdot 2,25 = 0,083 \text{ м} = 83 \text{ мм} \quad (5)$$

Большинство утеплителей выпускается в виде плит с толщиной 50 и 100 мм. Определим термическое сопротивление стены из условия, что толщина утеплителя будет равна 100 мм (толщина, максимально близкая к рассчитанной):

$$R_0^{yt} = R_{int} + R_{ext} + \sum R_i^{yt} = \frac{1}{8,7} + \frac{1}{23} + \frac{0,38}{0,57} + \frac{0,1}{0,037} = 3,53 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}} \quad (6)$$

Из полученного результата видно, что $R_0=3,53$ (м²·°C)/Вт > $R_{req}= 3,08$ (м²·°C)/Вт, что превышает минимально допустимые нормы и обеспечит комфортное проживание людей.

В таблице 4 приведены аналогичные расчеты для городов различных климатических зон Российской Федерации.

Как видно из таблицы 4, для городов климатических зон 1 и 2 вполне достаточно будет утеплителя толщиной 100 мм (при $\lambda = 0,037$), для зон 3 и 4 потребуются утеплитель в 150 мм, а для Особой климатической зоны – утеплитель в 200 мм.

Для оценки окупаемости инвестиций в утепление фасадов зданий будем использовать утеплитель с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,037$, на основании которого производились приведенные выше расчеты. Толщину утеплителя принимаем 100 мм.

Для расчета прогнозируемого дисконтированного срока окупаемости инвестиций, направленных на дополнительное утепление фасадов, будем использовать формулу:

$$T_D = \frac{\ln\left(1 + \frac{\Delta K}{\Delta \mathcal{E}} \cdot \frac{r-i}{1+i}\right)}{\ln\left(\frac{1+r}{1+i}\right)}, \quad (7)$$

T_D – прогнозируемый дисконтированный срок окупаемости инвестиций, год;

ΔK – разница капитальных затрат на возведение утепленного и базового вариантов наружных стен (фасадов) здания, руб.

$\Delta \mathcal{E}$ – разность потерь тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции до и после утепления, руб.

r – средний ежегодный рост стоимости тарифов на тепловую энергию.

i – процентная ставка дисконтирования

Оптимальным вариантом дополнительного утепления фасадов будет считаться тот, для которого время окупаемости дополнительных инвестиций будет минимальным, т. е. выполняется условие:

$$T = f(\delta_{yt}) \rightarrow \min \quad (8)$$

Капитальные затраты на дополнительное утепление наружной стены существующего здания примем равными 1930 руб/м²:

- 150 руб./м² – стоимость утеплителя Knauf Ecoroll Экстра Плита толщиной 100 мм,
- 120 руб./м² – крепеж и направляющие;
- 310 руб./м² – сухие строительные смеси;
- 1350 руб/м² – стоимость полного цикла строительно-монтажных работ.

Примем, что для финансирования работ по утеплению существующего здания строительная компания взяла кредит под 13,7% годовых на 3 года ($m = 36$). В этом случае коэффициент аннуитета составит 0,034:

$$A = \frac{p_{кр} \cdot (1+p_{кр})^m}{(1+p_{кр})^m - 1} = \frac{0,011 \cdot (1+0,011)^{36}}{(1+0,011)^{36} - 1} = 0,034 \quad (9)$$

m – срок кредита, мес.

$p_{кр}$ – месячная процентная ставка банка по кредиту, выраженная в сотых долях, в расчете на периодичность платежей (при процентной ставке по кредиту в 13,7% получим $p_{кр} = 0,137 / 12 = 0,011$)

Тогда суммарные инвестиции на реализацию энергосберегающего проекта с учетом платежей по кредиту составят (при аннуитетных ежемесячных платежах) 2 362,3 руб./м²:

$$\Delta K = 36 \cdot 0,034 \cdot 1930 = 2362,3 \text{ руб.}$$

Годовая экономия денежных средств, достигаемая в результате проведения работ по реновации фасадов существующего здания, определяется по формуле:

$$\Delta \mathcal{E} = (V_1 - V_2) \frac{0,024 \cdot D_d \cdot c_T}{1163} \quad (10)$$

В нашем случае коэффициент теплопередачи наружных стен до утепления (V_1) равен:

$$V_1 = \frac{1}{R_0^{исх}} = \frac{1}{0,825} = 1,21 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}} \quad (11)$$

Требуемое (нормируемое) сопротивление теплопередаче для наружных стен жилых зданий применительно к климатическим условиям Санкт-Петербурга равно $R_{req} = 3,08$ м²·°C/Вт, что соответствует коэффициенту теплопередачи V_2 :

$$V_2 = \frac{1}{R_0^{req}} = \frac{1}{3,08} = 0,325 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}} \quad (12)$$

Таблица 4. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций для различных климатических зон Российской Федерации

Table 4. Thermotechnical calculation of enclosing structures for various climatic zones of the Russian Federation

Климатическая зона	Город	Продолжительность отопительного периода со средней суточной температурой наружного воздуха 8 °С, сут.	Средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С	Требуемое (нормируемое) термическое сопротивление, $\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$	Требуемое термическое сопротивление стены с утеплителем, $\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$	Минимальная требуемая толщина утеплителя, м	Термическое сопротивление стены с утеплителем разного размера (при $\lambda = 0,037$), $\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$			
							50 мм	100 мм	150 мм	200 мм
1-я зона	Сочи	92	6,4	1,84	1,013	0,037	2,18	3,53	4,88	6,23
	Астрахань	167	-1,2	2,64	1,814	0,067	2,18	3,53	4,88	6,23
	Краснодар	149	2,0	2,34	1,514	0,056	2,18	3,53	4,88	6,23
	Красная Поляна	155	3,0	2,32	1,497	0,055	2,18	3,53	4,88	6,23
	Волгоград	177	-2,4	2,79	1,963	0,073	2,18	3,53	4,88	6,23
	Пятигорск	175	0,2	2,61	1,788	0,066	2,18	3,53	4,88	6,23
	Владикавказ	174	0,4	2,59	1,769	0,065	2,18	3,53	4,88	6,23
	Грозный	160	0,9	2,47	1,645	0,061	2,18	3,53	4,88	6,23
	Махачкала	148	2,7	2,30	1,471	0,054	2,18	3,53	4,88	6,23
	Дербент	138	3,7	2,19	1,362	0,050	2,18	3,53	4,88	6,23
2-я зона	Москва	214	-3,1	3,13	2,305	0,085	2,18	3,53	4,88	6,23
	Санкт-Петербург	220	-1,8	3,08	2,254	0,083	2,18	3,53	4,88	6,23
	Смоленск	215	-2,4	3,09	2,261	0,084	2,18	3,53	4,88	6,23
	Саратов	196	-4,3	3,07	2,242	0,083	2,18	3,53	4,88	6,23
	Рязань	208	-3,5	3,11	2,286	0,085	2,18	3,53	4,88	6,23
	Пенза	207	-4,5	3,18	2,350	0,087	2,18	3,53	4,88	6,23
	Липецк	202	-3,4	3,05	2,229	0,082	2,18	3,53	4,88	6,23
	Калуга	210	-2,9	3,08	2,258	0,084	2,18	3,53	4,88	6,23
	Воронеж	196	-3,1	2,98	2,160	0,080	2,18	3,53	4,88	6,23
	Владимир	213	-3,5	3,15	2,327	0,086	2,18	3,53	4,88	6,23
3-я зона	Барнаул	221	-7,7	3,54	2,718	0,101	2,18	3,53	4,88	6,23
	Благовещенск	218	-10,6	3,73	2,910	0,108	2,18	3,53	4,88	6,23
	Уфа	213	-5,9	3,33	2,506	0,093	2,18	3,53	4,88	6,23
	Белорецк	231	-6,5	3,54	2,717	0,101	2,18	3,53	4,88	6,23
	Иркутск	240	-8,5	3,79	2,969	0,110	2,18	3,53	4,88	6,23
	Братск	249	-8,6	3,89	3,067	0,113	2,18	3,53	4,88	6,23
	Петрозаводск	240	-3,1	3,34	2,515	0,093	2,18	3,53	4,88	6,23
Чита	242	-11,4	4,06	3,234	0,120	2,18	3,53	4,88	6,23	

Климатическая зона	Город	Продолжительность отопительного периода со средней суточной температурой наружного воздуха 8 °С, сут.	Средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С	Требуемое (нормируемое) термическое сопротивление, $\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Bm}$	Требуемое термическое сопротивление стены с утеплителем, $\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Bm}$	Минимальная требуемая толщина утеплителя, м	Термическое сопротивление стены с утеплителем разного размера (при $\lambda = 0,037$), $\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Bm}$			
							50 мм	100 мм	150 мм	200 мм
Климатическая зона	Новосибирск	230	-8,7	3,71	2,885	0,107	2,18	3,53	4,88	6,23
	Красноярск	234	-7,1	3,62	2,794	0,103	2,18	3,53	4,88	6,23
4-я зона	Архангельск	253	-4,4	3,56	2,736	0,101	2,18	3,53	4,88	6,23
	Онега	248	-3,9	3,47	2,649	0,098	2,18	3,53	4,88	6,23
	Воркута	306	-9,1	4,52	3,692	0,137	2,18	3,53	4,88	6,23
	Сыктывкар	245	-5,8	3,61	2,787	0,103	2,18	3,53	4,88	6,23
	Магадан	288	-7,1	4,13	3,307	0,122	2,18	3,53	4,88	6,23
	Мурманск	275	-3,2	3,63	2,808	0,104	2,18	3,53	4,88	6,23
	Кандалакша	266	-3,9	3,63	2,800	0,104	2,18	3,53	4,88	6,23
	Койнас	264	-5,9	3,79	2,968	0,110	2,18	3,53	4,88	6,23
	Охотск	280	-9,5	4,29	3,466	0,128	2,18	3,53	4,88	6,23
	Салехард	292	-11,4	4,61	3,784	0,140	2,18	3,53	4,88	6,23
Особая зона	Анадырь	311	10,5	2,43	1,609	0,060	2,18	3,53	4,88	6,23
	Индига	305	-5,1	4,08	3,254	0,120	2,18	3,53	4,88	6,23
	Нарьян-Мар	290	-7,2	4,16	3,336	0,123	2,18	3,53	4,88	6,23
	Ходовариха	330	-6,2	4,43	3,601	0,133	2,18	3,53	4,88	6,23
	Саскылах	314	-17,8	5,55	4,729	0,175	2,18	3,53	4,88	6,23
	Эньмувеем	294	-14,5	4,95	4,125	0,153	2,18	3,53	4,88	6,23
	Варандей	323	-7,3	4,49	3,661	0,135	2,18	3,53	4,88	6,23
	Надым	283	-11,6	4,53	3,705	0,137	2,18	3,53	4,88	6,23
	Островное	288	-17,8	5,21	4,385	0,162	2,18	3,53	4,88	6,23
	Березово	296	-13,6	4,88	4,056	0,150	2,18	3,53	4,88	6,23

С учетом того, что в текущем году стоимость тепловой энергии (c_T) установлена в размере 1765,33 руб./Гкал, величина уменьшения эксплуатационных затрат за первый отопительный период в результате внедрения энергосберегающих мероприятий составит 154,63 руб./м².

$$\Delta \mathcal{E} = (V_1 - V_2) \frac{0.024 \cdot D_d}{1163} \cdot c_T = 154,63 \left(\frac{\text{руб.}}{\text{м}^2} \right) \quad (13)$$

С 2008 по 2019 годы средняя величина относительного роста тарифов на тепловую энергию в Санкт-Петербурге составила 10,7 % в год (таблица 5). Таким образом, среднегодовой рост тарифов на тепловую энергию примем равным 0,107.

Таблица 5. Динамика роста тарифов на тепловую энергию в Санкт-Петербурге в 2008-2019 гг.

Table 5. Dynamics of growth of tariffs for thermal energy in St. Petersburg in 2008-2019

Год	Тариф на тепловую энергию, руб./Гкал	Прирост стоимости тепловой энергии в процентах по отношению к предыдущему году (отопительному периоду)
2008	650,00	-
2009	795,73	+22,4%
2010	931,00	+17,0%
2011	1 050,00	+12,8%
2013	1 175,00	+11,9%
2014	1 351,25	+15,0%
2015	1 408,01	+4,2%
2016	1 541,78	+9,5%
2017	1 621,95	+5,2%
2018	1 678,72	+3,5%
2019	1 765,33	+5,2%

Дисконтирование будущих денежных потоков произведем по ставке рефинансирования ЦБ РФ (7,0 %), то есть параметр i при расчете срока окупаемости инвестиций примем равным 0,07.

Таким образом, срок окупаемости инвестиций в утепление фасадов существующего здания составит 12,5 лет:

$$T = \frac{\ln \left(1 + \frac{\Delta K}{\Delta \mathcal{E}} \cdot \frac{r - i}{1 + i} \right)}{\ln \left(\frac{1 + r}{1 + i} \right)} = \frac{\ln \left(1 + \frac{2362,3}{154,63} \cdot \frac{0.107 - 0.07}{1 + 0.07} \right)}{\ln \left(\frac{1 + 0.107}{1 + 0.07} \right)} = 12,5 \text{ лет}$$

На основании аналогичных расчетов жилым домам, расположенным в городах других климатических зон можно будет сделать вывод о целесообразности и экономической эффективности выбранного варианта утепления или необходимости в поиске альтернативных вариантов повышения энергоэффективности фасадов зданий.

ВЫВОДЫ

Любые энергосберегающие технологии, материалы и мероприятия должны не только приводить к сокращению энергопотребления, но и быть окупаемыми. К сожалению, проблема эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений рассматривается крайне редко.

В данной работе был произведен теплотехнический расчет ограждающих

конструкций домов серии 1-447, на основании чего принималось решение о необходимости повышения энергоэффективности зданий. Расчеты выполнялись для 50 городов различных климатических зон Российской Федерации.

На основании параметров отопительного периода, капитальных затрат на дополнительное утепление фасадов и расчетных значений эксплуатационных затрат на отопление до и после утепления фасадов определена оптимальная толщина дополнительного слоя теплоизоляции, при которой срок окупаемости, рассчитанный с учетом роста тарифов на тепловую энергию и дисконтирования будущих денежных потоков, принимает минимальное значение.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В дальнейших исследованиях планируется продолжить работу по поиску оптимального варианта утепления жилых домов в различных климатических зонах, расширив объект исследования домами других массовых серий, а также поиском более эффективных и экономически эффективных теплоизоляционных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горшков А.С., Рымкевич П.П., Немова Д.В., Ватин Н.И. Методика расчета окупаемости инвестиций по реновации фасадов существующих зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 2 (17). - с. 82-106.
2. Горшков А. С. Об окупаемости инвестиций на утепление фасадов существующих зданий // Энергосбережение. 2014. № 4.
3. Цейтин Д.Н., Ватин Н.И., Немова Д.В., Рымкевич П.П., Горшков А.С. Техно-экономическое обоснование утепления фасадов при реновации жилых зданий первых массовых серий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 1 (40). – с. 20-31.
4. Ватин Н.И., Немова Д.В., Рымкевич П.П., Горшков А.С. Оценка прогнозируемых сроков окупаемости работ по утеплению фасадов при капитальном ремонте жилых зданий первых массовых серий // Кровельные и изоляционные материалы. 2015. № 6. С. 33-39.
5. Gorshkov A.S., Vatin N.I., Rymkevich P.P., Kydrevich O.O. Payback period of investments in energy saving // Magazine of Civil Engineering. 2018. № 2 (78). С. 65-75.
6. Никитин В.Д. Методы повышения тепловой эффективности зданий и их экономическая оценка // Инновационная наука. 2018. Т. 1. № 5. С. 49-51.
7. Учинина Т.В., Бабичева Н.В. Обзор методов повышения энергоэффективности жилых зданий // Молодой ученый. 2017. № 10 (144). С. 101-105.
8. Чеснокова Е.А., Понявина Н.А., Мартыненко Э.Ю., Мищенко А.В. Анализ мероприятий по повышению энергоэффективности // Строительство и недвижимость. 2018. № 1-1 (2). С. 54-58.
9. Адигамова З.С., Килязова Е.А. Энергоэффективные строительные технологии как инвестиции в будущее // Шаг в науку. 2018. № 2. С. 107-110.
10. Абрамян С.Г., Михайлова Н.А., Котляревский А.А., Семочкин В.О. Теплоизоляционные материалы, обеспечивающие энергоэффективность фасадных систем // Инженерный вестник Дона. 2018. № 4 (51). С. 221.
11. Пакуть М.В. Ограждающие конструкции с применением блоков из пеностекла: энергоэффективный способ утепления // Синергия Наук. 2017. № 12. С. 864-869.
12. Гаврилова А.Ю. Эффективность, свойства и технические характеристики утеплителей // В сборнике: Теория и практика технических, организационно-технологических экономических решений Сборник научных трудов. Иваново, 2018. С. 17-23.
13. Старцев Я.В., Филиппова Т.М. Теплоизоляция в энергосберегающих технологиях в строительстве // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2018. № 12. С. 227-230.
14. Кравченко К.С. Особенности и принципы строительства энергоэффективных домов в условиях Крайнего Севера // В сборнике: Энергия науки Электронный сборник материалов VII Международной студенческой научно-практической Интернет-конференции. 2017. С. 1093-1095.
15. Слободчиков Е.Г., Рожин В.Н., Местников А.Е. Комплексная оценка энергоэффективности стеновых изделий и ограждений в условиях экстремально холодного климата // Фундаментальные исследования. 2017. № 9-2. С. 357-361.
16. Окунцов И.И., Сычкина Е.Н. Проектирование энергоэффективных жилых домов в климатических условиях Пермского Края // Химия. Экология. Урбанистика. 2017. Т. 1. С. 93-97.
17. Волохова К.Е., Мурыгина Л.А., Питык А.Н., Архипова Е.С. Методы и приемы снижения энергозатрат зданий с учетом природно-территориальных условий // Инженерный вестник Дона. 2017. № 4 (47). С. 208.
18. Ливчак В.И. Как оценить энергоэффективность энергосберегающих мероприятий при выполнении капремонта многоквартирных домов // Энергосбережение. 2017. № 2. С. 24-35.
19. Раевская А.А., Быков А.О., Платицына А.И. Энергоэффективность жилых зданий серии 111-97 // В сборнике: Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей победителей VII Международной научно-практической конференции. 2017. С. 59-62.
20. Артюхова В.С. Перспективы реконструкции жилых домов первого поколения индустриального

домостроения в г. Воронеж // Точная наука. 2017. № 11. С. 56-60.

21. Цейтин Д.Н., Ватин Н.И., Немова Д.В., Рымкевич П.П., Горшков А.С. Технико-экономическое обоснование утепления фасадов при реновации жилых зданий первых массовых серий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 1 (40). С. 20-31.

22. Statsenko E.A., Ostrovaia A.F., Musorina T.A., Kukolev M.I., Petritchenko M.R. The elementary mathematical model of sustainable enclosing structure. Magazine of Civil Engineering.. 2016. No 8 (68). pp. 86-91.

23. Bukhartsev V.N., Petrichenko M.R. Condition for the mechanical energy balance of the whole flow with a variable flow rate. Hydrotechnical construction. 2001. No 4. pp. 33-36.

24. Мусорина Т.А., Гамаюнова О.С., Петриченко М.Р. Обоснование конструктивных мероприятий по увеличению энергоэффективности стеновых ограждений // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 11 (110). С. 1269-1277.

25. Korniyenko S.V., Vatin N.I., Gorshkov A.S. Thermophysical field testing of residential buildings made of autoclaved aerated concrete blocks // Magazine of Civil Engineering. 2016. № 4 (64). С. 10-25.

CHOICE OF THE OPTIMAL OPTION OF WARMING OF RESIDENTIAL HOUSES IN VARIOUS CLIMATE ZONES

Gamayunova O.S.

Summary. Currently, to reduce the cost of construction, some developers use enclosing structures made of materials with high thermal conductivity, thereby reducing the energy efficiency of buildings and structures. This is even more true for buildings built during the era of Soviet mass building, when in the foreground were the shortest time and low cost of construction. In this article, using the example of houses of the mass series 1-447, the thermal engineering calculation of enclosing structures in the various climatic zones of the Russian Federation was carried out. Also the payback period of investments in the insulation of facades was also determined.

Key words: energy efficiency, enclosing structures, heat engineering calculation, facade, insulation, climate zone, investments, payback,

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ РЕКУПЕРАЦИИ ТЕПЛОТЫ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

Зайцев О.Н., Ангелюк И.П.

Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Академия строительства и архитектуры,
e-mail: iliya.angeluck@gmail.com

Аннотация. В статье проведено детальное сравнение двух вариантов выработки тепловой энергии на нужды отопления лестничной клетки 9-и этажного жилого дома. Приведены расчеты капитальных и эксплуатационных затрат для данных вариантов. Рассчитаны дисконтируемый и бездисконтный сроки окупаемости системы рекуперации теплоты дымовых газов, а также определена экономическая эффективность внедрения системы рекуперации теплоты дымовых газов для различных регионов Российской Федерации.

Предмет исследования: проведено исследование экономической эффективности внедрения системы рекуперации теплоты дымовых газов коллективного дымохода по сравнению с традиционным газовым котлом.

Материалы и методы: в ходе исследования применялись материалы и методы, касаемые технико-экономического обоснования внедрения технически сложных систем, в условиях рыночных отношений стран с развивающейся экономикой.

Результаты: в результате исследования сделаны выводы о большей экономической привлекательности использования системы утилизации теплоты дымовых газов в климатических зонах с более низкой расчетной температурой отопительного периода, где срок окупаемости, в сравнении с наиболее экономически эффективным способом отопления на данный момент – газовым котлом, колеблется в пределах 1,3 – 2,5 лет. Однако, расчет показал, что применение системы утилизации теплоты дымовых газов в южных районах, окупается за 4 – 6 лет, что, в сравнении с рекомендуемым сроком эксплуатации системы теплоутилизации – 15 лет, позволит получать выгоду в течении 10 лет.

Выводы: определены капитальные и эксплуатационные затраты системы рекуперации теплоты дымовых газов и системы с газовым котлом, определены совокупные дисконтируемые затраты и срок окупаемости системы рекуперации теплоты дымовых газов, сделаны выводы о экономической эффективности внедрения системы утилизации теплоты дымовых газов для различных регионов России.

Ключевые слова: система рекуперации теплоты дымовых газов, капитальные и эксплуатационные затраты, дисконтируемый и бездисконтный сроки окупаемости, эффективность внедрения в регионах.

ВВЕДЕНИЕ

Данная статья является продолжением к статье [1] в которой сделаны выводы о возможности и необходимости рекуперации теплоты дымовых газов коллективных дымоходов с использованием на нужды отопления. Следует уточнить, что речь идет о многоквартирных жилых домах с индивидуальными газовыми котельными агрегатами в каждой квартире. Отвод продуктов сгорания в таком случае, согласно СП 41-108-2004, осуществляется в систему коллективного дымоудаления. Целю данной статьи является определение экономической эффективности внедрения системы рекуперации теплоты дымовых газов коллективного дымохода по сравнению с традиционным способом получения тепловой энергии - газовым котлом.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросы утилизации теплоты дымовых газов поднимался еще с 50-х годов 20-го века с целью повышения экономической эффективности систем сжигания топлива [2, 3], однако касались они промышленных объектов, где тепло, полученное в результате рекуперации, возвращается в технологический цикл.

В современной научной литературе вопросу экономической эффективности рекуперации теплоты дымовых газов уделяется внимание в [4, 5], где речь идет, также, о промышленных объектах или отопительных котельных большой мощности. Экономической стороне вопроса рекуперации теплоты дымовых газов именно из коллективного дымохода, как нового способа получения тепловой

энергии в жилых зданиях, сроках окупаемости и применимости данной системы в разных регионах Российской Федерации внимание научного сообщества уделено не было.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В рамках технико-экономического обоснования проводится сравнение двух вариантов для производства необходимой тепловой энергии на нужды отопления лестничной клетки одного подъезда 9-и этажного жилого дома, это:

1. Система утилизации теплоты дымовых газов;

2. Система с газовым котлом.

Исходными данными для проведения расчета явились:

- норма дисконта $p=12,78\%$, принимается согласно [6];

- тариф на газ для управляющих компаний $C_{газ}$, руб./м³, устанавливаемый Государственным комитет по ценам и тарифам для разных регионов;

- тариф на электроэнергию для потребления до 150 кВт/мес. $C_{эл}$, руб./кВт, устанавливаемый Государственным комитет по ценам и тарифам для разных регионов;

- годовая потребность в тепле одного подъезда 9-и этажного жилого дома, кВт/год, которая вычисляется формулой:

$$Q = \frac{Q_{от} \cdot 24 \cdot (t_{вн} - t_{ср}) \cdot n}{(t_{вн} - t_{от})},$$

где $Q_{от}$ – необходимая мощность системы

отопления, рассчитанная по параметру Б, кВт; $t_{от}$ – температура наружного воздуха по параметру Б, °С;

$t_{ср}$ – среднее значение температуры наружного

воздуха за отопительный период, °С; $t_{вн}$ – усредненное расчетное значение температуры воздуха внутри подъезда, °С; n – продолжительность отопительного периода, сутки.

- годовая потребность в газе для газового котла, м³/год, которая вычисляется формулой:

$$V_{газ} = \frac{Q}{q_{уд} \cdot \eta},$$

где Q – годовая потребность в тепле одного подъезда 9-и этажного жилого дома, кВт/год;

$q_{уд} = 9,2$ кВт/м³ – удельная теплота сгорания природного газа; $\eta = 92\%$ – КПД газового котла;

- время работы электрооборудования за отопительные период z , часов, для обеих систем (циркуляционные насосы) определяется исходя из продолжительности отопительного периода и продолжительности работы в сутки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

1. В ходе исследования были рассчитаны средние единовременные капитальные затраты на сооружение систем рекуперации теплоты дымовых газов и установку газового котла. Цены на материалы и изделия принимались согласно цен розничных сетей и являются постоянными для разных регионов Российской Федерации.

Капитальные затраты на сооружение систем рекуперации теплоты дымовых газов рассчитывались по формуле:

$$K_{РТ} = K_{ТУ} + K_{бак} + K_n + K_{мп} + K_a,$$

где $K_{ТУ}$ – стоимость теплоутилизатора рекуператора дымовых газов, руб.; $K_{бак}$ – стоимость буферной емкости, руб.; K_n – стоимость насосной группы, руб.; $K_{мп}$ – стоимость теплотрасс с изоляцией, руб.; K_a – стоимость автоматики управления, руб.

Капитальные затраты на установку системы на основе газового котла представляют собой стоимость лишь котла $K_{кот}$ без дополнительного оборудования.

2. Далее были рассчитаны суммарные годовые эксплуатационные затраты \mathcal{E} , руб., для данных систем, которые складываются из эксплуатационных затрат, связанных с потреблением газа $\mathcal{E}_{газ}$, эксплуатационных затрат, связанных с потреблением электроэнергии $\mathcal{E}_{эл}$, и годовых амортизационных отчислений $\mathcal{E}_{ам}$. Формула для определения годовых эксплуатационных затрат имеет следующий вид:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{газ} + \mathcal{E}_{эл} + \mathcal{E}_{ам}.$$

В свою очередь эксплуатационные затраты, связанные с потреблением газа, определяются по формуле:

$$\mathcal{E}_{газ} = V_{газ} \cdot C_{газ},$$

где $V_{газ}$ – годовая потребность в газе для газового котла, м³/год; $C_{газ}$ – тариф на газ для управляющих компаний, руб./м³.

Годовые амортизационные отчисления $\mathcal{E}_{ам}$ вычисляются по формуле:

$$\mathcal{E}_{ам} = \frac{1,5 \cdot K}{T_{ам}},$$

где K – капитальные затраты, для соответствующего варианта, руб.; $T_{ам}$ – расчетный срок эксплуатации оборудования, лет.

Следует отметить, что суммарные годовые эксплуатационные затраты системы утилизации теплоты дымовых газов рассчитываются без затрат на газ, т.к. в качестве теплоисточника используют теплоту рекуперации дымовых газов коллективного дымохода.

3. Совокупные дисконтируемые затраты (СДЗ) и срок окупаемости.

Совокупные дисконтируемые затраты определяются по формуле:

$$СДЗ = K \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^T + \mathcal{E} \cdot \left[\left(1 + \frac{p}{100}\right)^T - 1\right] \cdot \frac{100}{p},$$

где K – капитальные затраты соответствующего варианта, руб.; \mathcal{E} – эксплуатационные затраты соответствующего варианта, руб./год; p – норма дисконта, %; T – № года по счету для которого определяется СДЗ.

Для оценки эффективности дополнительных капитальных вложений при применении системы утилизации теплоты дымовых газов в сравнении с системой, построенной на газовом котле, строятся графики зависимости совокупных дисконтируемых затрат от времени эксплуатации (рис. 1). Точка пересечения графиков представляет собой дисконтированный срок окупаемости $T_{ок}$, лет.

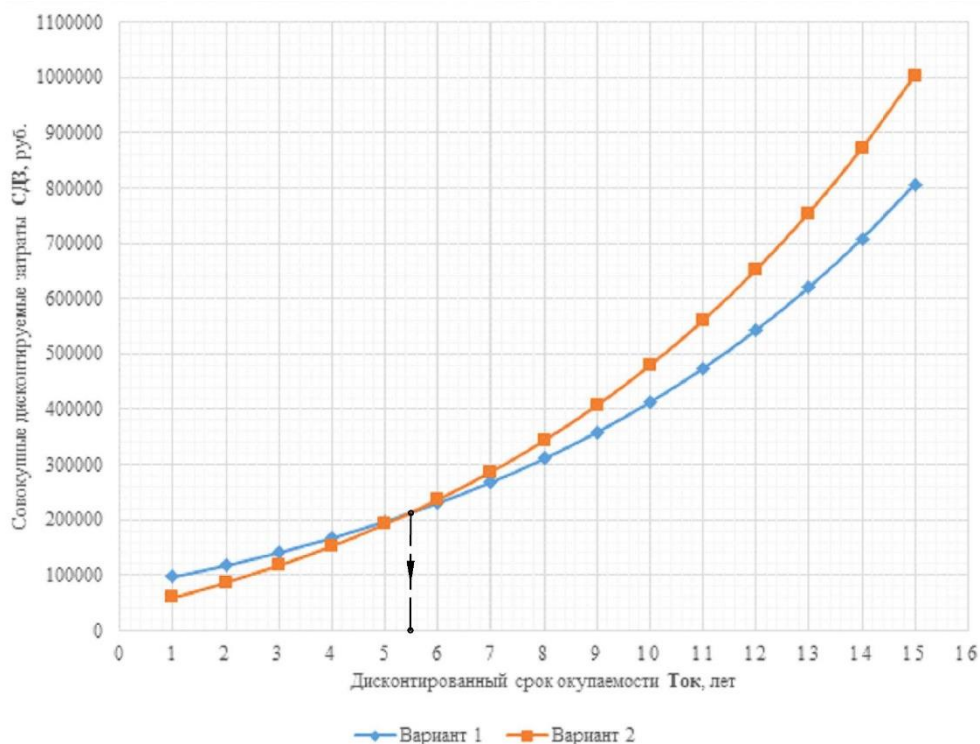


Рис. 1. График совокупных дисконтируемых затрат для двух вариантов: Вариант 1 – система утилизации теплоты дымовых газов; Вариант 2 – система на газовом котле

Fig. 1. Total discounted cost schedule for the two options: Option 1 – flue gas heat recovery system; Option 2 – gas boiler system

Точка пересечения графиков представляет собой дисконтированный срок окупаемости $T_{ок}$, лет.

В данном случае, для условий г. Симферополь, через 5,5 лет система утилизации теплоты дымовых газов в сравнении с системой, построенной на газовом котле, начнет приносить прибыль.

Также дисконтированный срок окупаемости, $T_{ок}$, при постоянных годовых эксплуатационных затратах определялся по формуле:

$$T_{ок} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{p \cdot T_o}{100}\right)}{\ln\left(1 + \frac{p}{100}\right)},$$

где T_o – бездисконтный срок окупаемости, лет., который определяется по формуле:

$$T_o = \frac{K_{РТ} - K_{кот}}{\mathcal{E}_{кот} - \mathcal{E}_{РТ}},$$

где $K_{РТ}$, $K_{кот}$ – капитальные затраты на систему утилизации теплоты дымовых газов и систему на газовом котле соответственно, руб.; $\mathcal{E}_{РТ}$, $\mathcal{E}_{кот}$ – эксплуатационные затраты на систему утилизации теплоты дымовых газов и систему на газовом котле соответственно, руб.

В таблице 1 приведены рассчитанные показатели для данных систем в условиях г. Симферополь.

Таблица 1. Итоги технико-экономического сравнения вариантов в условиях г. Симферополь

Table 1. Results of economic comparison of systems for Simferopol

Параметр	Система утилизации теплоты дымовых газов	Система с газовым котлом
Единовременные капитальные затраты K , руб.	79025	35000
Эксплуатационные затраты \mathcal{E} , руб./год	8230	21640
Бездисконтный срок окупаемости T_o , лет	5,5	-
Дисконтированный срок окупаемости T_{OK} , лет	3,8	-

4. На основании приведенных ранее формул была произведена оценка экономической эффективности внедрения системы утилизации теплоты дымовых газов для различных регионов Российской Федерации.

Исходные данные для каждого региона изменялись в части:

- тарифов на потребленные газ и электроэнергию;
- годовой потребности в тепле, в связи с разными расчетными температурами для каждого региона;

- времени работы оборудования, в связи с изменяющейся длиной отопительного периода для каждого региона.

Постоянными оставались данные:

- нормы дисконта $p = 12,78\%$;
- капитальных затрат на установку систем.

Итоги оценки приведены в виде диаграмм на рисунках 2 и 3.

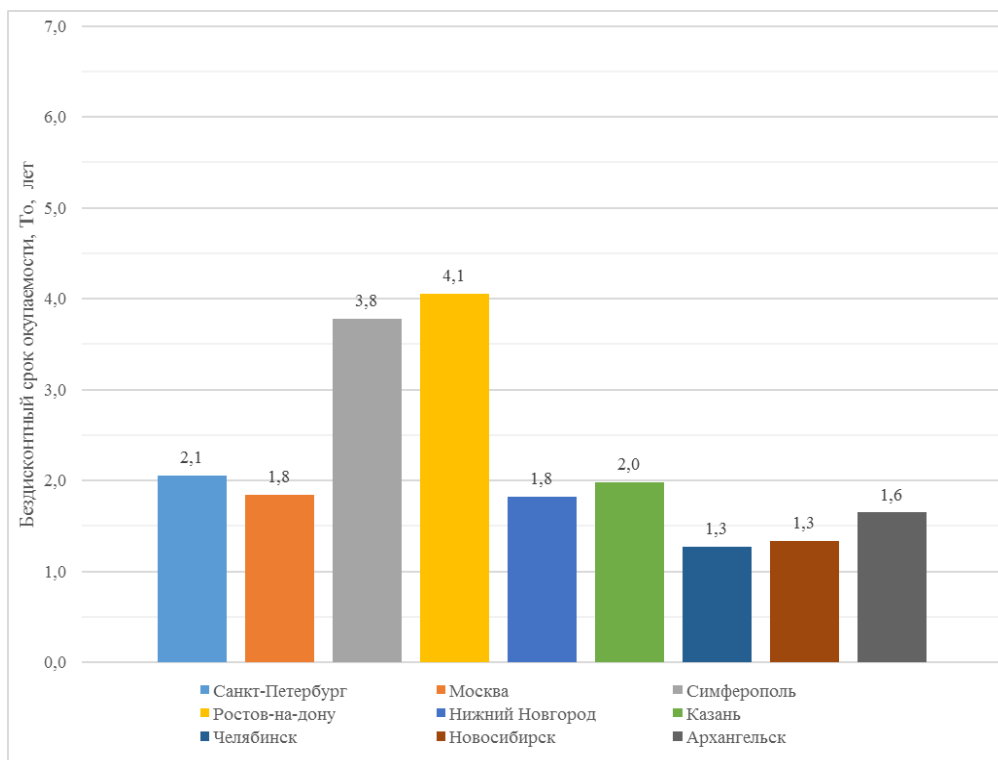


Рис. 2. Бездисконтный срок окупаемости системы утилизации теплоты дымовых газов в сравнении с системой на основе газового котла для регионов России

Fig. 2. Discount-free payback period of the flue gas heat recovery system in comparison with the system based on a gas boiler for the regions of Russian Federation

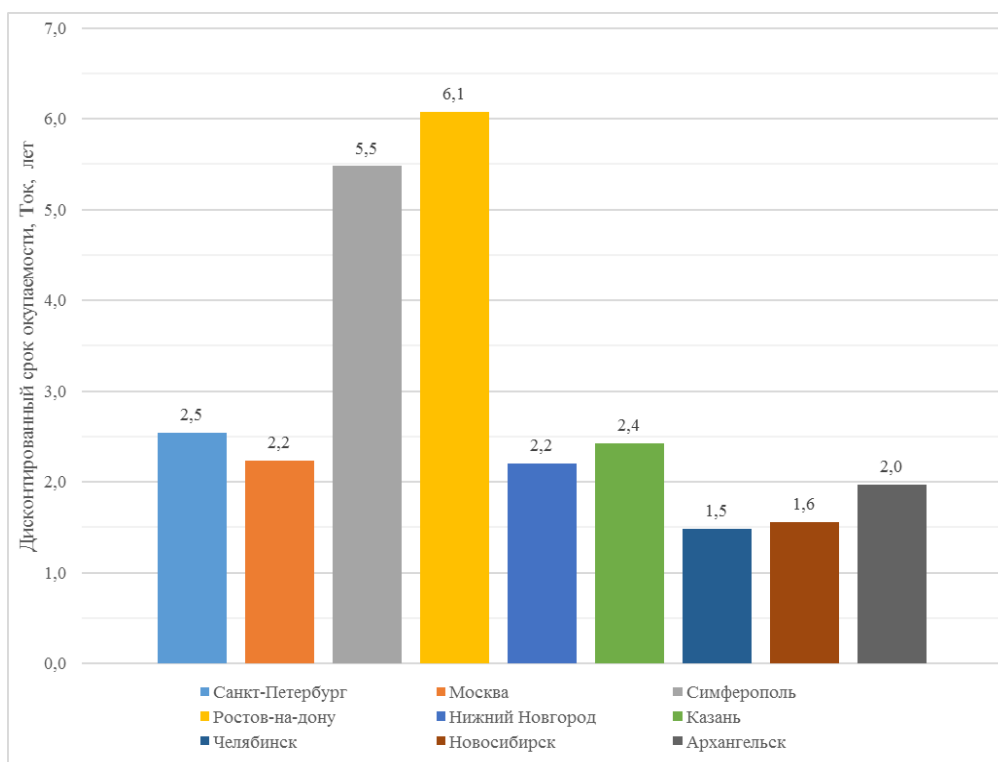


Рис. 3. Дисконтированный срок окупаемости системы утилизации теплоты дымовых газов в сравнении с системой на основе газового котла для регионов России

Fig. 3. Discounted payback period of flue gas heat recovery system in comparison with the system based on a gas boiler for the regions of Russian Federation

ВЫВОДЫ

Можно видеть, что при больших капиталовложениях, система утилизации теплоты дымовых газов имеет меньшие эксплуатационные затраты, в связи с использованием тепла дымовых газов как теплоисточника, что позволяет ей быть более эффективной финансово, чем система на основе газового котла, и через незначительный срок начать приносить прибыль.

На основании полученных результатов оценки экономической эффективности внедрения системы утилизации теплоты дымовых газов для различных регионов Российской Федерации можно сделать вывод о большей экономической привлекательности использования системы утилизации теплоты дымовых газов в климатических зонах с более низкой расчетной температурой, где срок окупаемости, в сравнении с наиболее экономически эффективным способом отопления на данный момент – газовым котлом, колеблется в пределах 1,3 – 2,5 лет. Также, можно видеть, что применение системы утилизации теплоты дымовых газов в южных районах, окупается за 4 – 6 лет, что, в сравнении с рекомендуемым сроком эксплуатации системы теплоутилизации – 15 лет, позволит системе приносить прибыль в течении 10 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ангелюк И.П. Утилизация теплоты отходящих дымовых газов бытовых котлов // Строительство и техногенная безопасность. 2016. №5(57). С. 32–33.
2. Крафт Г. Системы низкотемпературного отопления. Перевод с немецкого С.Г. Булкина. М.: Стройиздат. 1983. 108с.
3. Богословский В.Н., Сканава А.Н. Отопление: Учеб. Для вузов. М.: Стройиздат. 1991. 735с.
4. Бурокова А.В., Рахманов Ю.А. К вопросу рекуперации теплоты газов печей термообработки металлических изделий // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». 2014. №1. С. 17–27.
5. Дорохова Н. А. Утилизация теплоты дымовых газов котельного агрегата при помощи теплового насоса // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: материалы XVII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 27–28 апр. 2017 г. / Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого. 2017. С. 233–237.
6. Гумерова Э.И. Ставка дисконтирования для оценки эффективности проекта в кризисных и посткризисных условиях экономики // StudArctic Forum. 2017. № 1 (5). С. 121–130.

REFERENCES

1. Angelyuk I. P. Utilization of waste flue gas heat of domestic boilers // Construction and industrial safety. 2016. N 5(57). pp. 32–33. (In Russian)

2. Kraft G. Sistemi nizkotemperaturnogo otopeniya. Translated from the German by S. G. Bulkin. Moscow: Stroyizdat. 1983. 108 p.

3. Bogoslovsky V. N., Skanavi A. N. Heating: Textbook for universities Moscow: Stroyizdat. 1991. 735 p.

4 Burokova A.V., Rachmanov Y.A. On the question of gas heat recovery heat treatment furnaces metal products // The journal is published by St Petersburg

National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO University). 2014. N 1. pp. 17–27. (In Russian)

5. Dorokhova N. A. Utilization of heat of flue gases of the boiler unit by means of the heat pump // Research and development in the field of engineering, energy and management: proceedings of the XVII International scientific and technical conference of students and young scientists / Gomel: GGTU of P. O. Sukhoi. 2017. pp. 233–237. (In Russian)

6. Gumerova E. I. Discount rate to assess the effectiveness of the project in the crisis and post-crisis conditions of the economy // StudArctic Forum. 2017. N 1(5). pp. 121–130.

TECHNICAL - ECONOMIC SUBSTANTIATION OF USE OF FLUE GAS HEAT RECUPERATION SYSTEM

Zaitsev O.N., Angeluck I.P.

Summary. The article presents a detailed comparison of two variants of heat energy production for the heating needs of the staircase of a 9-storey residential building. The capital and operating costs for these options are calculated. Discounted and discountless payback periods of flue gas heat recuperation system are calculated. Economic efficiency of introduction of system of heat recuperation of flue gases for various regions of the Russian Federation is defined.

Subject: a study of the economic efficiency of the introduction of the flue gas heat recuperation system of the collective chimney compared with the traditional gas boiler.

Materials and methods: the study used materials and methods related to the feasibility study of the introduction of technically complex systems in conditions the market relations of countries with developing economies.

Results: as a result of the study, conclusions are made about the greater economic attractiveness of using the flue gas heat recovery system in climatic zones with a lower design temperature. Payback period, in comparison with a gas boiler, is 1.3 - 2.5 years.

Conclusions: the capital and operating costs of the flue gas heat recuperation system and the gas boiler system are determined, total discounted costs and payback period of flue gas heat recuperation system are determined, the analysis of economic efficiency of introduction of heat recuperation of flue gases for various regions of Russian Federation is formed.

Key words: flue gas heat recuperation system, capital and operating costs, discounted and discountless payback periods, economic efficiency of introduction for various regions.

УДК :621.1.016.7

ТЕРМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ОДНОРОДНОЙ ИЗОТРОПНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОЙ СРЕДЫ

Козинец Г.Л., Локтионова Е.А., Мусорина Т.А., Петриченко М.Р.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Санкт-Петербург, Россия, ул. Политехническая, 29

Аннотация.

Цель работы – определение термического сопротивления одномерной стеновой конструкции из однородной изотропной теплопроводной среды. Изучение составляющих термического сопротивления (активная и реактивная)

Предмет исследования: исследование проводится в области строительной теплотехники. Рассматривается однородное изотропное стеновое ограждение различных габаритов (одномерная и двумерная задачи). Рассматривается распределения температурного поля по толщине стенового ограждения. Изучается как разные включения влияют на изменения температурного поля стены и термическое сопротивление.

Материалы и методы: Необходимо определить вопрос о существовании одномерного температурного поля в полосе стены. Используется банахова алгебра неограниченных операторов. Вводится оператор дробного дифференцирования, позволяющий представить решения предельных задач теплопроводности Фурье, первого-третьего рода

Результаты: Термическое сопротивление одномерного ограждения определяется толщинами δ_T (температурного) и δ_q (теплового) пограничных слоев. Стеновое ограждение, обладающее большим активным термическим сопротивлением, как правило, термически неустойчиво и обладает малой тепловой емкостью.

Выводы: Максимальное увеличение температурного потока в установившемся температурном режиме для двумерной стены уменьшается на 41% по сравнению с одномерной стеной. Термическое сопротивление одномерного ограждения определяется мерами компактных носителей распределений температуры и теплового потока в одномерной теплопроводной среде. Стена позиционируется как термически толстая (двумерная), если $\delta_T < h$ и как термически тонкая (одномерная), если $\delta_T \geq h$. В стене с «сопоставимыми» размерами термическое сопротивление, независимо от режима распространения тепла (стационарного или нестационарного) меньше термического сопротивления тонкой стены с таким же температурным напором.

Ключевые слова: энергоэффективность, термическое сопротивление, стеновое ограждение, математическая модель, перенос тепла, геометрические включения.

ВВЕДЕНИЕ

Любая ограждающая конструкция выполняет функцию теплового барьера (занавеса), блокирующего передачу тепла. Содержательная часть приводимых результатов разработана в РААСН А.М. Шкловером, Г.А. Селиверстовым, [1-5]. Так, А.М. Шкловер провел аналогию между неустановившимся распространением тепла и переменным электрическим током в линейной цепи. Работы В.В. Селиверстова, посвященные тепловым потерям через ограждающие конструкции, содержат определения реактивных эффектов – тепловой инерции и тепловой емкости ограждения. Являясь специалистом в теории функций, Г.А. Селиверстов пропагандировал методы Фурье-анализа в задачах строительной теплотехники.

Исследования В.Г. Гагарина [6-9] и его научной школы связывают одномерные схемы расчета температурного состояния стеновых ограждений с точными решениями путем введения корректирующих коэффициентов, учитывающих эффекты неоднородности температурного поля – включения, геометрические искажения формы стены и прочие факторы неоднородности. Введение фактор-множеств одномерных решений позволило создать нормативные методы теплового расчета сложных конструкций стен. Необходимо учитывать изменения параметров микроклимата помещений.

В работах [10-12] описывается проблема неправильного проектирования строительных ограждений. Одна из задач — это прогнозирование температурного и влажностного состояния стеновых ограждений еще на стадии проектирования. Также сделан вывод, что повышение требований по влагозащите ограждающих конструкций при использовании расчетных значений температуры и относительной влажности внутреннего воздуха не всегда целесообразно. С целью определения уровня теплозащиты выполняется математическое моделирование теплопередачи в стеновых ограждающих конструкциях. Наиболее точно добавочные потери теплоты, обусловленные влиянием краевых зон, могут быть определены по температурным полям. Приведенное сопротивление теплопередаче стеновых ограждающих конструкций должны находиться в интервале допустимых значений СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» и близко к экономически целесообразному сопротивлению теплопередаче.

Цель работы – определение термического сопротивления одномерной стеновой конструкции из однородной изотропной теплопроводной среды. Для этого доказываются следующие задачи:

1. Полное термическое сопротивление \mathfrak{R} не меньше активного термического сопротивления \mathfrak{R}_a ;

- Термическое сопротивление \mathfrak{R} локализовано в пограничном слое температурного поля, определяемом как носитель интегрального распределения температуры и теплового потока
- Активное термическое сопротивление тонкой стены, $h/L \ll 1$ такое же, как у двумерной стены, $h/L \gg 1$ (принцип Сен-Венана).

Доказаны теоремы, связанные с банаховой алгеброй, применимые в теории теплопроводности Фурье.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Необходимо определить вопрос о существовании одномерного температурного поля в

полосе $-\infty < x < +\infty$, $0 < y < h$. предполагается, что координаты x, y уже нормированы, $h := H/L$, где L, H – продольные и поперечные размеры стенки, (значения либо одного порядка, либо несоизмеримы). На рисунке 1 показана схема одномерной стены, стилизованной под неограниченную полосу. С увеличением относительной толщины стены, $h/L = O(1)$, ее термическое сопротивление не возрастает. Принцип Сен-Венана для двумерной стены выполняется тогда и только тогда, когда вторые производные пограничных температур равны 0. тепловой поток рассчитывается по локальному перепаду граничных (предельных) температур $T_0 - T_1$. На рисунке 1 представлены схемы распространения теплового потока через одномерную (тонкую) стену неограниченного и ограниченного размеров.

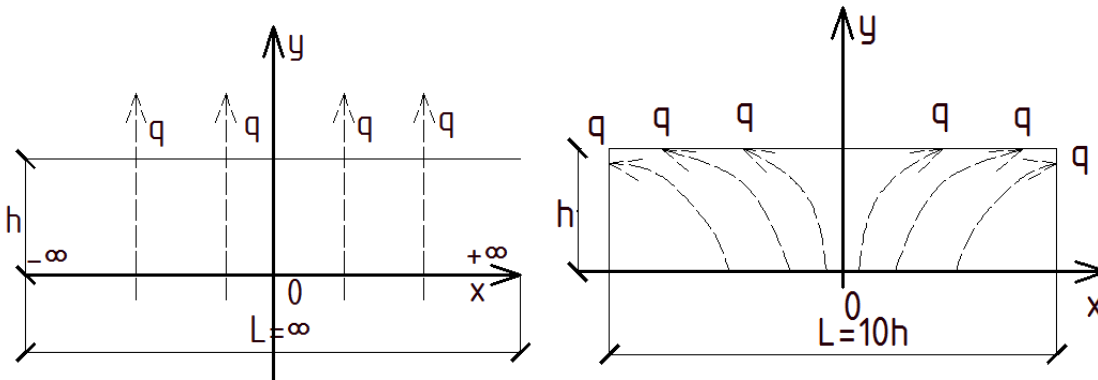


Рис.1. Распределение теплового потока по стене неограниченного и ограниченного размеров

Fig.1. Distribution of heat flow on the wall of unlimited and limited dimensions

Стена позиционируется как термически большой толщины (двумерная), если $\delta_T < h$ и как термически тонкая (одномерная), если $\delta_T \geq h$. Например, для полубесконечной стены $y > 0$, $\theta_0 = \text{const}$, получается:

$$\delta_T = 2\sqrt{\frac{at}{\pi}}, \delta_q = \sqrt{\pi at}, \text{ и в моменты времени } 0 < t < \frac{\pi h^2}{4a} \text{ стена термически толстая.}$$

Предполагается, что стена выполнена из скалярной (однородной и изотропной) теплопроводной среды. Перепад температуры $\theta = \theta(t, y)$, t – время, y – поперечная координата, $\theta(t, y) \leq \theta_0(t)$, $\theta_0(t) := \theta(t, 0)$, где θ_0 температура на поверхности стенового ограждения. Тепловой поток $q = q(t, y) \leq q_0(t) := q(t, 0)$, $q = -\lambda \partial T / \partial y$. Физические

константы среды, где λ – теплопроводность, ρ – плотность, c_p – изобарная теплоемкость заданы.

На рисунке 2 представлены графики распределения по толщине стены скорости распространения уединенных волн. Где W_T – скорость распространения уединенной волны температурного возмущения, W_q – скорость распространения уединенной волны теплового потока. Существует полная аналогия с гидравликой: W_T – скорость распространения длинной волны возмущения свободной поверхности. Тогда W_q – скорость перемещения волны расхода, вызванной деформацией свободной поверхности. За счет инерции потока $W_q < W_T$. Возмущение свободной поверхности потока в любой момент времени занимает некоторую часть потока – область возмущения, аналог δ_T .

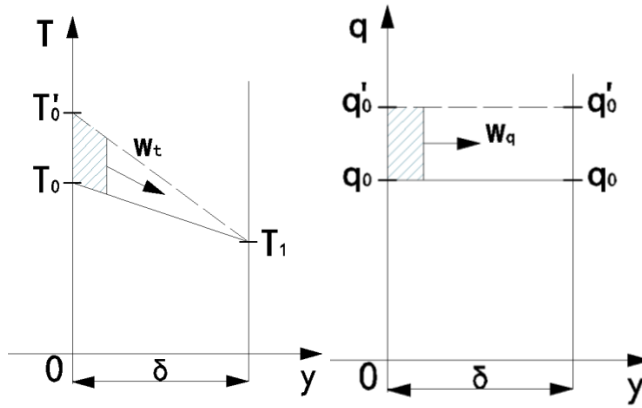


Рис.2. Скорости распространения уединенных волн W_t и W_q

Fig.2. Distribution velocities of solitary waves W_t and W_q

Используется банахова алгебра неограниченных операторов. Вводится оператор дробного дифференцирования, позволяющий представить решения предельных задач теплопроводности Фурье, первого-третьего рода, в виде для первой предельной задачи:

$$\theta(t, y) = \exp(-y\partial_t^{1/2})\theta_0(t),$$

для второй предельной задачи:

Представление оператора дробного дифференцирования по формуле Лиувилля:

$$\partial_t^{-n} y(t) := (d/dt)^{-n} y(t) = \frac{1}{\Gamma(n)} \int_0^t (t-\tau)^{n-1} y(\tau) d\tau.$$

При $n=1/2$ получается:

$$\partial_t^{-1/2} y(t) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\sqrt{t}} y(t-z^2) dz.$$

Следствие:

$$\partial_t^{-1/2}(1) = 2\sqrt{\frac{t}{\pi}}, \partial_t^{-1/2}(t^s) = t^{s+1/2} \frac{\Gamma(s+1)}{\Gamma(s+3/2)}, s > -3/2.$$

Пусть $\theta_0(t)$ аппроксимируется полиномом степени r :

$$\theta_0(t) = \sum_{k=0}^r a_k t^k;$$

тогда:

$$\partial_k^{-1/2} \theta_0(t) = \sum_{k=0}^r a_k \frac{\Gamma(k+1)}{\Gamma(k+3/2)} t^{k+1/2}.$$

Пусть λ - параметр, $\text{Re}\lambda > 0$. Тогда:

$$(\partial_t + \lambda)^{-1/2} y(t) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\infty} y(t-z^2) \exp(-\lambda z^2) dz;$$

Теорема коммутации:

$$\left((\partial_t + \lambda)(\partial_t + \lambda)^{-1/2} - (\partial_t + \lambda)^{-1/2}(\partial_t + \lambda) \right) y(t) = \frac{y(0) \exp(-\lambda t)}{\sqrt{t\pi}}.$$

Следствие: если $\lambda=0$, то формула коммутации принимает вид:

$$(\partial_t \partial_t^{-1/2} - \partial_t^{-1/2} \partial_t) y(t) = \frac{y(0)}{\sqrt{t\pi}}.$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Рассмотрим случай, если $h \gg 1$ (стена большой толщины или двумерная стена). Тогда получается формула обращения с ядром Дирихле для распределения температуры в верхней полуплоскости $y > 0$:

$$T(x, y) = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \frac{\exp(-ty \partial_x)}{1+t^2} T_0(x) dt = \exp(-iy \partial_x) T_0(x).$$

Эффект включений, провоцирующих неоднородность температурного поля теплового потока, обусловлен не только неоднородностью материала стенового ограждения, но и ее размерами. В тонкой стенке распределение температуры линейное, тепловой поток одномерен и распространяется поперек стены. Продольные составляющие теплового потока малы.

В стене с «сопоставимыми» размерами модуль теплового потока, как правило, больше чем в одномерной (тонкой) стене, а термическое сопротивление при нестационарном режиме меньше термического сопротивления тонкой стены.

Максимальное увеличение температурного потока в установившемся температурном режиме для двумерной стены составляет разницу 41% по сравнению с одномерной стеной.

Полученные результаты согласуются с существующей литературой [13-15]. Доказано, что высокая тепловая масса (тепловое сопротивление), которая отвечает за теплоустойчивость конструкции часто приводит к более высокому потреблению энергии в холодном климате. Ограждающая конструкция с высокой тепловой массой, будет эффективна в жарком климате. Этот результат имеет последствия для проектирования зданий в холодном климате и противоречит общепринятому предположению, что высокая тепловая масса коррелирует с низким энергопотреблением.

ВЫВОДЫ

1) Инвариантом термического сопротивления одномерной стены служит (неограниченный) оператор $\partial_t^{1/2}$ и температурный перепад на стеновой конструкции θ . Активное термическое сопротивление \mathfrak{R}_a , определяется как $\mathfrak{R}_a = \frac{\partial_t^{-1/2} \theta_0(t)}{\theta_0(t)}$, полное термическое сопротивление

$$\mathfrak{R} = \frac{\theta_0(t)}{\partial_t^{1/2} \theta_0(t)}.$$

\mathfrak{R} , определяется как отношение полного, \mathfrak{R} , термического сопротивления к

$$T(x, y) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^\infty \frac{T_0(x-ty) dt}{1+t^2}$$

включается второй размер по x (длина или ширина здания по стене). Формулу Дирихле можно записать в следующем виде (в алгебре неограниченных операторов над кольцом $S_k(E^1)$, $k \geq 1$):

активному термическому сопротивлению \mathfrak{R}_a , составит:

$$\mathfrak{R} / \mathfrak{R}_a = \frac{\theta_0^2(t)}{(\partial_t^{-1/2} \theta_0(t)) (\partial_t^{1/2} \theta_0(t))};$$

2). Термическое сопротивление одномерного ограждения определяется толщинами δ_T (температурного) и δ_q (теплового) пограничных слоев (мерами компактных носителей распределений температуры и теплового потока в одномерной теплопроводной среде). Стена позиционируется как термически толстая (двумерная), если $\delta_T < h$ или как термически тонкая (одномерная), если $\delta_T \geq h$.

3). Реактивное термическое сопротивление (тепловая емкость стены и ее тепловая инерция) при постоянном тепловом потоке возрастает одновременно с уменьшением активного термического сопротивления; иначе, стеновое ограждение, обладающее большим активным термическим сопротивлением, как правило, термически неустойчиво и обладает малой тепловой емкостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колмогоров А.Н., Селиверстов Г.А. Sur la convergence des series de Fourier // C.R. Acad. Sci. (Paris). 1924. № 178. С. 303-307.
2. Селиверстов Г.А., Sur la convergence des series de Fourier // Atti Acad. Lincei Roma. 1926. № 3. С. 307-310.
3. Селиверстов Г.А. Математическая теория теплоустойчивости // Математический сборник. 1931. № 3-4 (38). С. 70—73.
4. Селиверстов Г.А. К вопросу о тепловой инерции зданий. М.: Госстройиздат ОНТИ НКТП. 1933. 58 с.
5. Селиверстов Г.А. Теплоустойчивость зданий. М.: Госстройиздат НКТП. 1934. 52 с.
6. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Лушин К.И., Плющенко Н.Ю. Учет теплопроводных включений и вентилируемой прослойки при расчетах сопротивления теплопередаче стены с навесной фасадной системой (НФС) // Строительные

материалы. 2016. № 6. С. 32-35. DOI10.31659/0585-430X-2016-738-6-32-35

7. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Неклюдов А.Ю. Учет теплопроводных включений при определении тепловой нагрузки на систему отопления здания // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2016. № 2 (978). С. 57-61.

8. Gagarin V., Akhmetov V., Zubarev K. Moisture behavior calculation of single-layer enclosing structure by means of discrete-continuous method // MATEC Web of Conferences. 2018. p. 03014. DOI10.1051/mateconf/201817003014

9. Гагарин В.Г., Неклюдов А.Ю. Учет теплотехнических неоднородностей ограждений при определении тепловой нагрузки на систему отопления здания. // Жилищное строительство. 2014. №6. С. 3-7.

10. Мусорина Т.А., Гамаюнова О.С., Петриченко М.Р. Обоснование конструктивных мероприятий по увеличению энергоэффективности стеновых ограждений // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 11 (110). С. 1269-1277. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.11.1269-1277

11. Корниенко С.В. Уточнение расчетных параметров микроклимата помещений при оценке влагозащитных свойств ограждающих конструкций // Вестник МГСУ. 2016. № 11. С. 132-145. DOI 10.22227/1997-0935.2016.11.132-145

12. Корниенко С.В. Повышение теплозащиты стеновых конструкций зданий из объемных блоков // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 8 (47). С. 17-30.

13. Petrichenko M.R., Kotov E.V., Nemova D.V., Tarasova D.S., Sergeev V.V. Numerical simulation of ventilated facades under extreme climate conditions // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 1 (77). С. 130-140 doi: 10.18720/MCE.77.12.

14. Vatin N., Gamayunova O. Energy saving at home // Applied Mechanics and Materials. 2014. T. 672-674. pp. 550-553 DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.672-674.550

15. deGracia A., Castell A., Fernández C., Cabeza L.F. A simple model to predict the thermal performance of a ventilated facade with phase change materials // Energy and Buildings. 2015.No. 93, pp. 137–142. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.01.069

REFERENCES

1. Kolmogorov A. N., Seliverstov G. A. Sur la convergence des series de Fourier // C.R. Acad. Sci. (Paris). 1924. N 178. pp. 303—307.

2. Seliverstov G. A. Sur la convergence des series de Fourier // Atti Acad. Lincei Roma. 1926. N 3. pp. 307—310.

3. Seliverstov, G. A., Mathematical theory of thermal stability // Mathematical collection. 1931. N. 3-4 (38). pp. 70-73. (In Russian)

4. Seliverstov G. A. On the question of thermal inertia of buildings. M.: ONTI NKTP Gosstroizdat. 1933. 58 p. (In Russian)

5. Seliverstov, G. A., thermal stability of buildings. Moscow: NKTP Gosstroizdat. 1934. 52 p. (In Russian)

6. Gagarin V. G., Kozlov V. V., Lushin K. I., Plushenko N. Yu. Accounting of heat-conducting inclusions and the ventilated interlayer at calculations of resistance to heat transfer of a wall with hinged facade system (NFS) // Building materials. 2016. N. 6. pp. 32-35. DOI 10.31659/0585-430X-2016-738-6-32-35(In Russian)

7. Gagarin V. G., Kozlov V. V., Neklyudov A. Yu. Accounting for heat-conducting inclusions in determining the thermal load on the heating system of the building // BST: Bulletin of construction equipment. 2016. N. 2 (978). pp. 57-61(In Russian)

8. Gagarin V., Akhmetov V., Zubarev K. Moisture behavior calculation of single-layer enclosing structure by means of discrete-continuous method // MATEC Web of Conferences. 2018. p. 03014. DOI10.1051/mateconf/201817003014

9. Gagarin V. G., Neklyudov A. Yu. Accounting for thermal inhomogeneities of fences in determining the thermal load on the heating system of the building. // Housing construction. 2014. N. 6. pp. 3-7.(In Russian)

10. Musorina T. A., gamayunova O. S., Petrichenko M. R. Justification of constructive measures to increase the energy efficiency of wall fences // Vestnik MGSU. 2017. T. 12. N. 11 (110). pp. 1269-1277. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.11.1269-1277(In Russian)

11. Kornienko S. V. Refinement of the calculated parameters of the microclimate of premises in assessing the moisture-proof properties of enclosing structures // Vestnik MGSU. 2016. N. 11. pp. 132-145. DOI 10.22227/1997-0935. 2016. 11. 132-145 (In Russian)

12. Kornienko S. V. Increase of thermal protection of wall constructions of buildings from volume blocks // Construction of unique buildings and constructions. 2016. N. 8 (47). pp. 17-30 (In Russian)

13. Petrichenko M.R., Kotov E.V., Nemova D.V., Tarasova D.S., Sergeev V.V. Numerical simulation of ventilated facades under extreme climate conditions // Magazine of Civil Engineering. 2018. N 1 (77). pp. 130-140.doi: 10.18720/MCE.77.12.

14. Vatin N., Gamayunova O. Energy saving at home // Applied Mechanics and Materials. 2014. T. 672-674. pp. 550-553. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.672-674.550

15. deGracia A., Castell A., Fernández C., Cabeza L.F. A simple model to predict the thermal performance of a ventilated facade with phase change materials // Energy and Buildings. 2015.N. 93, pp. 137–142. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.01.069

THERMAL RESISTANCE OF HOMOGENEOUS ISOTROPIC HEAT-CONDUCTING MEDIUM

Kozinets G. L., Loktionova E. A., Musorina T. A., Petrichenko M. R.

¹St. Petersburg Polytechnic University of Peter the Great, 195251, St. Petersburg, Russia, Polytechnicheskaya, 29

Summary. Determination of thermal resistance of a one-dimensional wall structure from a homogeneous isotropic heat-conducting medium. Study of thermal resistance components (active and reactive)

Subject: the research is carried out in the field of construction heat engineering. A homogeneous isotropic enclosing structure of different dimensions (one-dimensional and two-dimensional problems) is considered. The distribution of the temperature field over the thickness of the enclosing structure is considered. It is studied how different inclusions affect changes in the temperature field of the wall and thermal resistance.

Materials and methods: It is necessary to determine the question of the existence of a one-dimensional temperature field in the wall strip. The Banach algebra of unbounded operators is used. The fractional differentiation operator is introduced, which allows to present solutions of limit Fourier heat conduction problems of the first-third kind.

Results: The thermal resistance of a one-dimensional enclosing structure is determined by the thicknesses δ_T (temperature) and δ_q (thermal) of the boundary layers. Enclosing structure, which has a large active thermal resistance, as a rule, is thermally unstable and has a small thermal capacity.

Conclusions: The maximum increase in temperature flow in the steady-state temperature regime for a two-dimensional wall is reduced by 41% compared to a one-dimensional wall. The thermal resistance of a one-dimensional enclosing structure is determined by measures of compact carriers of temperature and heat flux distributions in a one-dimensional heat-conducting medium. The wall is positioned as thermally thick (two-dimensional) if $\delta_T < h$ and as thermally thin (one-dimensional) if $\delta_T \geq h$. In a wall with "comparable" dimensions, the thermal resistance, regardless of the mode of heat distributions (stationary or non-stationary) is less than the thermal resistance of a thin wall with the same temperature head.

Key words: energy efficiency, thermal resistance, enclosing structure, mathematical model, heat transfer, geometric inclusions.

УДК 628.1:628.2

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОГО И НАДЕЖНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ ДОНБАССА

А.С. Трякина, М.Ю. Гутарова

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
г. Макеевка, ул. Державина, 2, 1410alena@mail.ru

Аннотация. Автор анализирует проблемы водоснабжения городов Донбасса, связанные с влиянием вооруженного конфликта. Выполнен анализ работы коммунального предприятия «Компания «Вода Донбасса» в сложившихся условиях. В статье обосновываются возможные факторы риска, снижающие безопасность и надежность систем водоснабжения. Проанализировано распределение происшествий на объектах инфраструктуры систем водоснабжения и водоотведения, связанных с конфликтом, по городам Донбасса. Выявлено, что повреждение и разрушение объектов и инфраструктуры системы электроснабжения, занимает значительную часть в общем количестве причин нарушения работы систем водоснабжения и водоотведения. Проанализировано распределение зафиксированных происшествий по типу пострадавшей инфраструктуры систем водоснабжения и водоотведения. Выявлено, что наибольший урон от военных действий понесли фильтровальные станции, которые являются одной из наиболее важных частей системы водоснабжения. В статье отражено, что существующее состояние систем водоснабжения и водоотведения городов Донбасса является достаточно плачевным. Военные действия оказывают не прямое влияние на физически изношенную инфраструктуру системы водоснабжения, повышая эксплуатационную нагрузку, что приводит к росту отказов данной системы. Стальные трубопроводы, которые применяются на данных территориях, в настоящее время более подвержены коррозии в связи с нарушением работы станций контроля электромеханической коррозии. Надежность и безопасность системы водоснабжения городов Донбасса в значительной степени подвергается риску вследствие применения жидкого хлора для обеззараживания воды, так как многие фильтровальные станции находятся вблизи линии разграничения и могут подвергаться обстрелам. Также существует проблема транспортировки и своевременной доставки реагентов, необходимых для процессов очистки воды. Все рассмотренные проблемы значительно влияют на работу систем водоснабжения и водоотведения и снижают их надежность и безопасность.

Предмет исследования: вопросы функционирования систем водоснабжения и водоотведения городов Донбасса в условиях военного конфликта.

Материалы и методы: выполнен сбор информации по работе коммунального предприятия «Компания «Вода Донбасса», а также по происшествиям на инфраструктуре систем водоснабжения и водоотведения, связанным с вооруженным конфликтом, и проведена статистическая обработка этих данных.

Результаты: в результате исследования выявлены следующие закономерности: наибольший процент отказов систем водоснабжения и водоотведения связан с отключением электричества; фильтровальные станции являются наиболее пострадавшими объектами инфраструктуры; военные действия оказывают косвенное влияние на инфраструктуру системы водоснабжения, повышая ее эксплуатационную нагрузку.

Выводы: Проблемы безопасного и надежного водоснабжения городов Донбасса в настоящее время напрямую связаны с протекающим на их территории военным конфликтом. В результате проведенных статистических исследований происшествий, связанных с военными действиями, выявлено, что наиболее распространенными причинами отказов систем водоснабжения и водоотведения являются отключение электроснабжения и повреждение трубопроводов, оборудования и зданий инфраструктуры. Вследствие военных действий значительно увеличилась эксплуатационная нагрузка на системы водоснабжения и водоотведения. Также выявлена проблема с транспортировкой и своевременной доставкой на очистные сооружения необходимых реагентов. В целом все эти проблемы в работе системы водоснабжения региона несут угрозу жизни и здоровью населения.

Ключевые слова: система водоснабжения, система водоотведения, надежность, безопасность, города Донбасса

ВВЕДЕНИЕ

Вооруженный конфликт на Донбассе оказывает негативное влияние на повседневную жизнь населения региона с апреля 2014 года. Несмотря на договоренности о режиме прекращения огня, его нарушение происходит изо дня в день. Население, проживающее на территории военного конфликта и в непосредственной близости к ней, вынуждено страдать от частых боевых действий, ограничений передвижений, а также сокращения или полного прекращения в предоставлении таких услуг, как электроснабжение и водоснабжение. Наличие военного конфликта создает множество правовых и административных трудностей в отношении организации и управления деятельностью общего

для двух территорий поставщика услуг водоснабжения КП «Компания «Вода Донбасса». Данное положение дел ведет к возникновению различных проблем, которые снижают надежность и безопасность услуг водоснабжения населения Донбасса.

Целью работы является выявление основных проблем функционирования систем водоснабжения и водоотведения в условиях военных действий для дальнейшего выполнения оценки рисков работы данных систем.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Вода необходима для нормальной жизнедеятельности всех живых организмов. Отсутствие воды и ее загрязненность несет

большую угрозу жизни и здоровью людей. Качество воды и ее доступность могут меняться вследствие таких нестандартных ситуаций, как военные действия [1-7].

Система водоснабжения Донбасса – это уникальный комплекс водопроводных и гидротехнических сооружений [6, 8, 9, 11-13]. С весны 2014 года и по настоящее время объекты и инфраструктура данной системы находятся в зоне боевых действий. Значительные повреждения за это время получили объекты канала Северский Донец – Донбасс [5,6]. Трубопроводы, оборудование и здания инфраструктуры систем водоснабжения и водоотведения и до начала военного конфликта находились в состоянии повышенного физического износа [11-13], а в процессе конфликта их состояние только усугубилось. В результате этого ухудшается качество услуг водоснабжения и, непосредственно, качество питьевой воды, от чего страдает население региона, и без того находящееся в сложных жизненных условиях [1-4, 10].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом данного исследования является система водоснабжения городов Донбасса, которую обслуживает КП «Компания «Вода Донбасса». Ежедневно данное предприятие поставляет до 1,3 млн. м³ питьевой воды 3,9 миллионам потребителей и 0,3 млн. м³ неочищенной (технической) воды промышленным предприятиям. С целью проведения данного исследования была собрана информация по работе данного предприятия, а также по происшествиям, связанным с вооруженным конфликтом на Донбассе, которые затронули инфраструктуру предприятия и нарушили нормальное функционирование всей системы водоснабжения. Выполнена статистическая обработка полученных данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

КП «Компания «Вода Донбасса» осуществляет управление и эксплуатацию следующих объектов:

- канал Северский Донец – Донбасс длиной 132 км, в том числе четыре станции подъема;
- Южно-Донбасский водовод;
- Второй Донецкий водовод;
- 17 водохранилищ общим объемом 775 млн. м³;

- 11 950 км трубопроводов системы водоснабжения;
- 18 фильтровальных станций производительностью 2,79 млн. м³/сут.;
- 246 водопроводных насосных станций;
- 299 артезианских скважин;
- 3 346 км канализационных трубопроводов;
- 164 канализационных насосных станции;
- 54 канализационных очистных сооружений.

Услуги водоснабжения, предоставляемые данным предприятием, особенно уязвимы и подвержены воздействию ввиду специфической конфигурации инфраструктуры, состояния объектов, месторасположения объектов, а также затруднительного финансового состояния компании. Эти факторы приводят к тому, что устаревшие технологии и оборудование снижают эффективность функционирования систем и увеличивают вероятность технологических сбоев, а близость к линии соприкосновения вооруженного конфликта приводит к прямым повреждениям инфраструктуры предприятия. Экономические санкции, ограничения и отсутствие условий безопасности препятствуют проведению регулярного технического обслуживания и нормальной эксплуатации, а также подвергают риску жизнь и благополучие персонала предприятия. В таких условиях предприятие осуществляет свою деятельность в течение всего времени протекания вооруженного конфликта, но продолжает обеспечивать своих потребителей водой, несмотря на все сложности.

В начале конфликта места активных боевых действий были разбросаны по территории Донбасса. В 2014-2015 годах в городах Славянске, Горловке, Ясиноватой, Дебальцево, Иловайске, Донецке и их окрестностях шли активные боевые действия. С 2015 года линия соприкосновения оставалась относительно неизменной с периодическими локальными обострениями. Горячие точки в настоящее время находятся в районах Горловки, Авдеевки, Ясиноватой, западной части Донецка, а также в небольших населенных пунктах к востоку от Волновахи и Мариуполя.

На рисунке 1 представлено месторасположение, связанных с конфликтом, происшествий, в том числе эвакуация и потери среди персонала КП «Компания «Вода Донбасса», прямые повреждения инфраструктуры водоснабжения и водоотведения, а также отключение электроснабжения, которые были зафиксированы в течение 2014-2016 гг.

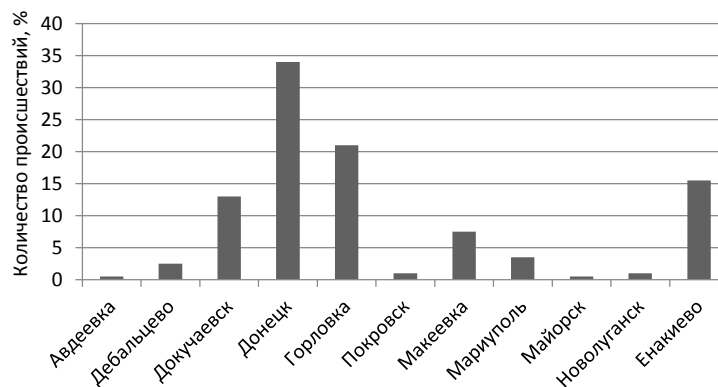


Рис. 1. Распределение происшествий, связанных с конфликтом, по городам Донбасса

Fig. 1. The distribution of incidents related to the conflict in the cities of Donbas

Повреждения объектов и инфраструктуры электроснабжения происходят часто и отличаются особой критичностью, так как при отсутствии электричества не возможны такие важные технологические процессы, как очистка питьевой воды, транспортировка ее потребителю, очистка сточных вод и перекачивание их на очистные сооружения. Важно отметить, что 40% всех происшествий, связанных с конфликтом и повлиявших на инфраструктуру систем водоснабжения и водоотведения, которые были зафиксированы, касались нарушения электроснабжения объектов данных систем. При таких происшествиях возможно два варианта развития событий. В первом варианте будет осуществлено переключение объектов на резервную линию электропитания и технологический процесс не прервется, но объект останется без резервной мощности. Во втором варианте при отсутствии резервной линии при повреждении воздействие будет серьезным, что может привести к полному прекращению технологических операций и остановке всех систем, также резкая остановка может подвергнуть оборудование и гидротехнические сооружения повышенной рабочей нагрузке.

Количество происшествий, связанных с нарушением работы объектов и систем водоснабжения и водоотведения (повреждения трубопроводов и оборудования, зданий инфраструктуры), составило 23% от общего числа происшествий. На рисунке 2 показано распределение зафиксированных происшествий с 2014 года по 2016 год по типу пострадавшей инфраструктуры систем водоснабжения и водоотведения, в том числе прямые повреждения инфраструктуры, эвакуация персонала, отключение электроснабжения, человеческие потери. Прямые попадания снарядов испытали на себе пять из восьми станций подъема канала Северский Донец – Донбасс и Южно-Донбасского водовода, а также более половины из 18 фильтровальных станций. В настоящее время три станции подъема, а также Донецкая, Верхнекальмиусская, Макеевская, Новолуганская и обе Горловские фильтровальные станции расположены в таких районах, где часто бывают обстрелы. На рисунке 3 приведены последствия обстрелов объектов системы водоснабжения региона.

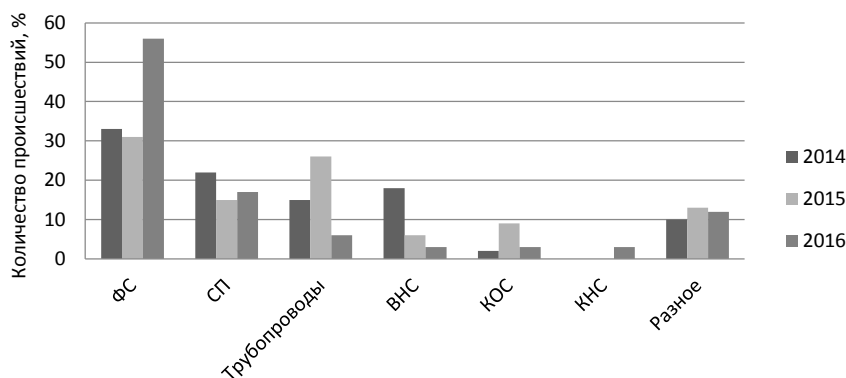


Рис. 2. Распределение происшествий, связанных с конфликтом, по типу пострадавшей инфраструктуры (ФС – фильтровальные станции; СП – станции подъема; ВНС – водопроводные насосные станции; КОС – канализационные очистные сооружения; КНС – канализационные насосные станции)

Fig. 2. Distribution of conflict-related incidents by type of infrastructure affected (ФС - filtering stations; СП - lifting stations; ВНС - water pumping stations; КОС - sewage treatment plants; КНС - sewage pumping stations)



Рис. 3. Последствия обстрелов объектов системы водоснабжения:

- а) поврежденный напорный трубопровод канала Северский Донец – Донбасс диаметром 2500 мм;
- б) поврежденный хлоропровод; в) разрушения в здании фильтров Донецкой фильтровальной станции;
- г) разрушения в лаборатории Донецкой фильтровальной станции

Fig. 3. The consequences of shelling of water supply facilities:

- a) damaged pressure pipeline of the channel Seversky Donets-Donbas with a diameter of 2500 mm;
- б) damaged chlorine pipeline; в) destructions in the filters building of the Donetsk filter station;
- г) destructions in the laboratory of the Donetsk filter station

Физический износ систем водоснабжения и водоотведения также оказывает значительное влияние на безопасность и надежность их функционирования. Военные действия лишь усугубляют данное положение, оказывая не прямое воздействие и повышая эксплуатационную нагрузку на инфраструктуру.

Резкие изменения расхода воды в сетях, происходящие в результате остановок и запусков насосов или после экстренного закрытия задвижки, могут вызывать гидравлический удар, при котором происходит скачок давления, превышающий проектное давление трубопроводов и оборудования. В условиях повышенного количества остановок насосов из-за перебоев с электроснабжением, как описано выше, частота гидравлических ударов ускоряет износ материалов и оборудования, которые зачастую и так уже близки к концу срока своей нормальной эксплуатации, и значительно увеличивает количество утечек, а также приводит к необходимости замены задвижек и соответствующих вспомогательных приспособлений.

В основном все водоводы, которые обслуживает КП «Компания «Вода Донбасса», изготовлены из стали. Защита от коррозии данных трубопроводов осуществляется системой контроля электромеханической коррозии. Однако в некоторых районах станции такого контроля уже не функционируют вследствие военных действий. Следовательно, возможно, что состояние трубопроводов, оставшихся без защиты от коррозии, будет ухудшаться более стремительно.

Дезинфекция воды является одной из важных ступеней ее очистки для питьевых целей. Не существует других эффективных методов для удаления из воды различных бактерий и микроорганизмов, которые являются возбудителями болезней и подвергают риску жизнь и здоровье людей. Процесс очистки на большинстве фильтровальных станций основан на использовании хлора, технологически устаревшего дозирующего оборудования и негерметичных баков-смесителей.

Особенную обеспокоенность вызывают возможные повреждения контейнеров с хлором и хлоропроводов. Жидкий хлор, используемый для

очистки воды и сточных вод, является опасным веществом. В нынешней ситуации компания проявляет осторожность и ограничивает количество контейнеров с хлором, которые хранятся на объектах повышенного риска, хотя чрезвычайная ситуация в случае прямого попадания представляет собой значительный риск.

Надежность и безопасность водоснабжения населения Донбасса также подвергается риску в связи с проблемой транспортировки и своевременной доставки химических реагентов на фильтровальные станции. Многие объекты близко расположены к линии разграничения и не всегда есть возможность заблаговременной доставки реагентов. Можно предположить последствия в случае отсутствия хлора на фильтровальной станции, это может привести к тому, что население будет получать техническую воду не пригодную для питья. На сегодняшний день такие ситуации устранялись до того момента, как на станции заканчивались запасы этого важного реагента.

ВЫВОДЫ

Современные проблемы безопасного и надежного водоснабжения городов Донбасса напрямую связаны с протекающим на их территории военным конфликтом. В результате анализа, зафиксированных происшествий на инфраструктуре систем водоснабжения и водоотведения, выявлено, что наиболее распространенными причинами отказов данных систем являются отключение электроснабжения и повреждения трубопроводов, оборудования и зданий инфраструктуры. Вследствие военных действий значительно увеличилась эксплуатационная нагрузка на системы водоснабжения и водоотведения, которые и до начала военных действий имели значительный физический износ. Также выявлено, что появилась проблема с транспортировкой и своевременной доставкой на очистные сооружения реагентов, необходимых для подготовки питьевой воды и очистки сточных вод. Весь этот комплекс проблем в работе системы водоснабжения региона несет большую угрозу жизни и здоровью населения. Данная работа предвещает выполнение оценки рисков функционирования систем водоснабжения и водоотведения городов Донбасса в условиях военного конфликта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Peter H. Gleick. Water and Conflict: Fresh Water Resources and International Security // International Security. 1993. Vol. 18, No. 1, pp. 79 – 112.
2. Tignino M. Water, International Peace and Security // International Review of the Red Cross. 2010. Vol. 92, No. 879. Режим доступа: <http://www.icrc.org/eng/assets/files/review/2010/irrc-879-tignino.pdf> (дата обращения 24.09.2019).

3. Zolnikov T.R. The Maladies of Water and War: Addressing Poor Water Quality in Iraq. Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3698740/> (дата обращения 24.09.2019).

4. Potential impact of conflict on health in Iraq. Режим доступа: https://www.who.int/features/2003/iraq/briefings/iraq_briefing_note/en/ (дата обращения 24.09.2019).

5. Дрозд Г.Я., Хвортова М.Ю. К вопросу оценки технического состояния строительных объектов в условиях поражающих факторов // Сборник научных трудов ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ». 2019. № 14 (57). С. 55 – 70.

6. КП «Компания «Вода Донбасса». Режим доступа: <http://www.voda.dn.ua/ru/> (дата обращения 24.09.2019).

7. Высоцкий С.П. Критические экологические проблемы Донбасса // Экологическая ситуация в Донбассе. 2016. Том 1. С. 301-309.

8. Коршикова И.А. Состояние водных ресурсов Донецкой области и их диагностика // Экономічний вісник Донбасу. 2011. № 1 (23). С. 27-30.

9. Сатин И.В., Трякина А.С. Исследование гидрохимического режима канала Северский Донец – Донбасс // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Инженерные системы и техногенная безопасность: сб. науч. тр. 2014. Вып. 2014-5(109). С. 5-11.

10. WHO/UNICEF. Joint Monitoring Programme. Progress on drinking water and sanitation: 2014 Update. Режим доступа: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2014/jmp-report/en/ (дата обращения 24.09.2019).

11. Маслак В.Н., Зотов Н.И. Трубопроводы водоснабжения: вопросы проектирования, строительства и рациональной эксплуатации. Донецк: Вебер, 2007. 462 с.

12. Водоснабжение / С.Б. Никиша, Н.Г. Насонкина, Н. П. Омельченко, В. Н. Маслак, Н. И. Зотов, А. А. Найманова; под ред. А. Я. Найманова. Донецк: ООО «Норд Комп'ютер», 2006. 654 с.

13. Найманов А.Я. О надежности систем водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 2005. № 7. С. 30-35.

REFERENCES

1. Peter H. Gleick. Water and Conflict: Fresh Water Resources and International Security // International Security. 1993. Vol. 18, No. 1, pp. 79 – 112.
2. Tignino M. Water, International Peace and Security // International Review of the Red Cross. 2010. Vol. 92, No. 879. Available at: <http://www.icrc.org/eng/assets/files/review/2010/irrc-879-tignino.pdf> (date of access 24.09.2019).
3. Zolnikov T.R. The Maladies of Water and War: Addressing Poor Water Quality in Iraq. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3698740/> (date of access 24.09.2019).
4. Potential impact of conflict on health in Iraq. Available at:

https://www.who.int/features/2003/iraq/briefings/iraq_briefing_note/en/ (date of access 24.09.2019).

5. Drozd G.Ya., Hvortova M.Yu. On the issue of assessing the technical condition of construction sites under conditions damaging factors // Collection of scientific papers SEI HPE LPR «DonSTU». 2019. № 14 (57). pp. 55 – 70.

6. Municipal Enterprise "Company "Water of Donbas". Available at: <http://www.voda.dn.ua/ru/> (date of access 24.09.2019).

7. Vysotsky S.P. Critical environmental problems of the Donbas // Ecological situation in the Donbas. 2016. Vol. 1. pp. 301-309.

8. Korshikova I.A. The condition of water resources in the Donetsk region and their diagnostics // Economic Bulletin of Donbas. 2011. № 1 (23). pp. 27-30.

9. Satin I.V., Tryakina A.S. The investigation of hydrochemical regime of channel Seversky Donets – Donbas // Bulletin of the Donbas National Academy of

Civil Engineering and Architecture. Engineering systems and technological safety: collection of scientific paper. 2014. Vol. 2014-5(109). pp. 5-11.

10. WHO/UNICEF. Joint Monitoring Programme. Progress on drinking water and sanitation: 2014 Update. Available at: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2014/jmp-report/en/ (date of access 24.09.2019).

11. Maslak V.N., Zotov N.I. Water supply pipelines: issues of design, construction and rational operation. Donetsk: Weber, 2007. 462 p.

12. Water supply / S.B. Nikisha, N.G. Nasonkina, N.P. Omelchenko, V.N. Maslak, N.I. Zotov, A.A. Naimanova; under the editorship of A.Ya. Naimanov. Donetsk: «Nord Comp'yuter LLC», 2006. 654 c.

13. Naimanov A.Ya. About the reliability of water supply and sanitation // Water supply and sanitary equipment. 2005. № 7. pp. 30-35.

CURRENT PROBLEMS OF SAFE AND RELIABLE WATER SUPPLY OF CITIES OF DONBAS

Alyona Tryakina, Marina Gutarova

State Educational Institution of Higher Professional Education
«Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture»,
Makeyevka, Derzhavina st., 2, 1410alena@mail.ru

Abstract. The author analyzes the problems of water supply in the cities of Donbas related to the impact of armed conflict. The analysis of the work of the municipal enterprise «Company «Water of Donbas» in the current conditions are completed. The article substantiates possible risk factors that reduce the safety and reliability of water supply systems. The distribution of incidents at the infrastructure facilities of water supply and sewerage related to the conflict in the cities of Donbas is analyzed. It was revealed that damage and destruction of facilities and infrastructure of the power supply system, occupies a significant part in the total number of causes of disruption of water supply and sewerage systems. The distribution of recorded incidents by type of damaged infrastructure of water supply and sewerage systems is analyzed. It was revealed that the greatest damage from hostilities was suffered by stations of water purification, which are one of the most important parts of the water supply system. The article reflects that the current state of the water supply and sewerage systems in the cities of Donbas is rather deplorable. Military action has an indirect effect on the physically worn-out infrastructure of the water supply system, increasing the operational load, which leads to an increase in the failures of this system. Steel pipelines that are used in these areas are now more susceptible to corrosion due to disruption of the functioning of electrochemical corrosion monitoring stations. The reliability and safety of the water supply system in the cities of Donbas is largely at risk due to the use of liquid chlorine to disinfect water, as many stations of water purification are located near the demarcation line and can be bombarded. There is also the problem of transportation and timely delivery of reagents required for water treatment processes. All the problems considered significantly affect the operation of water supply and sewerage systems and reduce their reliability and safety.

Subject: issues of the functioning of water supply and sewerage systems in the cities of Donbas in the conditions of a military conflict.

Materials and methods: information was collected on the operation of the municipal enterprise «Company «Water of Donbas», as well as on incidents on the infrastructure of water supply and sewerage systems related to the armed conflict, and statistical processing of these data was carried out.

Results: As a result of the study, the following patterns were revealed: the largest percentage of failures in water supply and sewerage systems is associated with a power outage; stations of water purification are the most affected infrastructure; military operations have an indirect effect on the infrastructure of the water supply system, increasing its operational load.

Conclusions: The problems of safe and reliable water supply to the cities of Donbas are currently directly related to the military conflict taking place on their territory. As a result of statistical studies of incidents related to military operations, it was found that the most common causes of failure of water supply and sewerage systems are power outages and damage to pipelines, equipment and infrastructure buildings. As a result of hostilities, the operational load on the water supply and sewerage systems, which were physically worn out before the outbreak of hostilities, significantly increased. There is also a problem with the transportation and timely delivery of the necessary reagents to the treatment plant. In general, all these problems in the operation of the region's water supply system pose a threat to the life and health of the population.

Keywords: water supply system, sanitation system, reliability, safety, the city of Donbas.

УДК 628.12

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ МОБИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСОБЫХ ПРИРОДООХРАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

М.Ю. Толстой¹, Н.В. Белоокая², А.А. Туник³, Е.М. Попова⁴, В.С. Попов⁵

- ¹ *Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, e-mail: tolstoi@istu.edu*
- ² *Общество с ограниченной ответственностью «Инновационный Центр «Энергоэффективность», 664082, г. Иркутск, проезд Юрия Тена, 4-30, e-mail: bnv60@rambler.ru*
- ³ *Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, e-mail: alextun@mail.ru*
- ⁴ *Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, e-mail: tolstaya87@bk.ru*
- ⁵ *Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, e-mail: patronia@inbox.ru*

Аннотация. Приведены результаты исследований комплексной мобильной установки для систем жизнеобеспечения, обладающая функциями производства электрической и тепловой энергии, а также очистки сточных вод и водоподготовки. Получение электрической энергии происходит за счёт преобразования солнечной энергии и использования микробно-топливных элементов. Кроме того, возможно применение ветрогенераторов и дизельного генератора в составе установки. Тепловая энергия для системы ГВС получается при помощи солнечных коллекторов. Также возможно применение тепловых насосов. Исследовано перемешивание жидкости за счет вращения пневмогидравлического аэратора. Показана возможность объединения различных технологий для очистки сточных вод в одном комбинированном мобильном сооружении. На основании проведенных исследований предложена сливная станция очистки сточных вод. Приведены исследования моделирования процессов биохимической очистки в комплексной мобильной установке для систем жизнеобеспечения. Рассчитано необходимое количество комплексных мобильных установок для систем жизнеобеспечения, а именно для очистки сточных вод и горячего водоснабжения спортивно-оздоровительного лагеря «Политехник», который находится на 17 километре Байкальского тракта. В расчётах учитывалось количество проживающих за сезон, режимы водопотребления и водоотведения, географическое положение лагеря, среднее количество пасмурных дней в местности, а также количество солнечных часов. Особое внимание авторы уделяют тому, что разработанная комплексная мобильная установка позволит обеспечить энергоснабжение и утилизацию сточных вод объектов, расположенных на рекреационных и особых природоохранных территориях без экологических последствий и нарушения природоохранных и санитарных требований. При этом установка может быть использована на объектах различного типа.

Предмет исследования: В 50 километрах от лагеря «Политехник» вверх по течению реки Ангара находится озеро Байкал, внесённое в Список объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО, а вниз по течению Ангары расположен Иркутский водозабор. В связи с этим существуют серьезные требования к утилизации стоков и энергоснабжения объектов в районе реки на протяжении всего Байкальского тракта, не говоря уже об их удаленности от центральных источников энергии и инженерных коммуникаций.

Материалы и методы: В исследованиях применялся экспериментальный стенд для очистки сточных вод, использовались лабораторный, эмпирический и аналитический методы.

Результаты: Исследована КМУ СЖО, которая дополнительно осуществляет очистку воды до уровня утилизации на основе энергоэффективных запатентованных технологий очистки сточных вод. Показаны зависимости очистки от азота и фтора при содержании кислорода на модельных стоках. Приведен расчет количества установок для лагеря «Политехник» ИРНИТУ.

Выводы: Установка является автономной системой, обеспечивающей электроснабжением двух-трехфазным переменным током и теплоснабжением объекты при использовании энергии ветра, солнца и двигателя внутреннего сгорания. К основным источникам возобновляемой энергии, таким как солнце и ветер, предполагается использование микробных топливных элементов. Отличительной особенностью установки является повышение надежности и качества энергоснабжения, снижение расхода топлива дизельной генераторной установки путем оптимизации ее работы в системе, повышение КПД системы за счет управления режимом работы КМУ СЖО с помощью автоматической системы управления.

Ключевые слова: Комплексная мобильная установка для систем жизнеобеспечения, солнечный коллектор, водоотведение, пневмогидравлический аэратор, перемешивание сточных вод и осадка, горячее водоснабжение

ВВЕДЕНИЕ

Для Иркутской области Байкальская природная территория является основным объектом исследований и применения научных экологических и энергосберегающих технологий.

Развитие рекреационных зон на Байкальской природной территории и реконструкция городской застройки невозможна без модернизации очистных сооружений и их бесперебойного энергоснабжения. Кроме того, существует множество проблем с энергоснабжением и утилизацией стоков на особых природоохранных территориях, связанных с

повышенными экологическими требованиями и ограничениями. Наличие горячего водоснабжения и освещения – актуальная проблема для отдыха на Байкале. При этом осуществление реконструкции и технического перевооружения сооружений по очистке производственных и городских сточных вод – одна из наиболее сложных инженерных задач, направленная на улучшение экологической обстановки и охрану водоемов от загрязнения и истощения. Предполагается, что в пределах городской застройки проектируют и возводят стационарные очистные сооружения. Для приема сточных вод от недалеко расположенных деревень и коттеджных поселков необходимо возводить дополнительные станции приема сточных вод и обработки осадка. Существует множество способов очистки загрязненных вод, но важным фактором является аэрация жидкости, создание аэробных условий для биологической очистки.

Аэрация жидкости необходима как для создания флотационных пузырьков в жидкости, так и для насыщения самой жидкости кислородом в зависимости от назначения химического или биохимического процесса в очистке воды, или другой отрасли промышленности, использующей аэрацию как основу технологического цикла [1-4].

Разнообразие способов аэрации жидкости и устройств для их осуществления требует не только классификации, но и фундаментального подхода для выявления физических закономерностей осуществления аэрации и создания более совершенных устройств и способов, необходимых для различных отраслей промышленности [5-8].

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРАЦИИ ЖИДКОСТИ

Исследования аэрации жидкости и выбор аэрационных устройств проводятся достаточно давно. Принцип работы аэрирующего устройства основывался на общих принципах гидродинамических потоков, разработанных в сфере исследования форсунок подачи топлива.

Установлено, что при создании в аэраторе скачка уплотнения, происходит режим распыла жидкости, находящейся в соосном потоке газа. Такая оптимизация конструктивных параметров аэратора позволяет потоку воздуха кольцевым обжатием струи и жидкости создать режим кавитации течения жидкости, который затем переходит в пленочно-диспергированный режим течения жидкости и воздуха в выпускной насадке. Данный режим течения позволит дополнительно увеличить расход воздуха до образования в выпускной насадке скачка уплотнения, после прорыва которого скорость потока на выходе из выпускной насадки достигает сверхзвукового значения. Увеличение расхода воздуха при таком режиме течения потока позволит сохранить диаметр пузырьков воздуха флотационной крупности, что в свою очередь приведет к повышению извлечения при флотации.

Скорость окисления, или скорость потребления кислорода при неизменной температуре в каждый данный момент пропорциональна массе органического вещества, находящегося в воде. Следовательно, по мере окисления органического вещества, если нет поступления новых загрязнений, скорость окисления все время уменьшается.

Этому же закону подчиняется процесс растворения кислорода в воде. Кислород, как и всякий другой газ, может растворяться в воде лишь до определенного, насыщающего воду объема. Этот объем зависит от температуры и давления: чем температура выше, тем растворимость кислорода меньше.

Указанная зависимость существует при растворении кислорода, находящегося в воздухе под парциальным давлением, соответствующим его содержанию. Растворимость чистого кислорода, находящегося под более высоким давлением, будет выше. Такое явление наблюдается, как известно, при фотосинтезе, когда зеленое вещество растений, разлагая на свету CO_2 , поглощает углерод и выделяет чистый кислород.

Скорость растворения кислорода, согласно указанному выше закону, в каждый данный момент обратно пропорциональна степени насыщенности воды кислородом или прямо пропорциональна его недонасыщенности (дефициту). Это относится, конечно, лишь к поверхности соприкосновения воды с кислородом (диффузионному слою). Для того чтобы эта скорость растворения относилась ко всей массе воды, необходимо интенсивное ее перемешивание. Дефицит кислорода может быть выражен в абсолютных значениях (в мг/дм^3), а также в относительных величинах (в процентах или в долях от полного дефицита).

В трудах Репина Б.Н. [3] была представлена схема передачи кислорода от газового пузырька с пограничной пленкой газа через поверхность фазового контакта (газ-жидкость), дополнительную пленку, образуемую, например, ПАВ, границу раздела и пограничный слой жидкости в основную массу перемешиваемой жидкости. Далее передача кислорода идет по пути преодоления пограничной пленки жидкости вокруг микробной клетки, после чего через клеточную оболочку кислород поступает в клетку. Таким образом, процесс растворения кислорода неразрывно связан с процессом его потребления.

Растворенный кислород – один из определяющих показателей для сооружений аэробной биологической очистки. Исследуя разработанный аэратор, можно с уверенностью сказать, что он позволяет без значительных технических затрат насыщать жидкость кислородом воздуха с одновременным её перемешиванием, благодаря чему растворенный кислород более эффективно распространяется по всему объёму и поддерживает микроорганизмы во взвешенном состоянии [9]. Это позволяет считать его более эффективным и конкурентоспособным среди прочих устройств для аэрации жидкости и

рекомендовать его для внедрения на канализационных очистных станциях в сооружениях биологической очистки сточных вод.

Биохимическая очистка сточных вод осуществляется в результате сложного комплекса взаимосвязанных физических, химических и биологических процессов. В результате лабораторных исследований была создана технологическая система очистки сточных вод. В данной системе задействован комплект для ионометрии, позволяющий определить рН и концентрацию ряда ионов, БПК и ХПК. Основные неметаллы в сточных водах (способы их очистки), задействованные в процессе эксперимента:

1. Азот аммонийный (NH_4^+): Биологическая фильтрация, окисление озоном, хлором, гипохлоритами щелочных и щелочноземельных металлов, произведены аэрация, сорбция с использованием цеолитов натриевой формы, ионообменные смолы, обработка сильной щелочью, флотация, восстановление аммония металлическим магнием, добавлением растворов хлорида магния и тринатрийфосфата;

2. Азот нитратный (NO_3^-): Электродиализ, ионообменные смолы, биологическая очистка,

обратный осмос, электрофлотация, каталитическое восстановление до азота;

3. Азот нитритный (NO_2^-): Биологическая фильтрация, окисление озоном, хлором, гипохлоритами щелочных и щелочноземельных металлов, пероксидом водорода, обратный осмос, ионообменные смолы;

4. Сульфаты (SO_4^{2-}): Обратный осмос, ионообменные смолы, алюминий содержащим реагентом с известкованием;

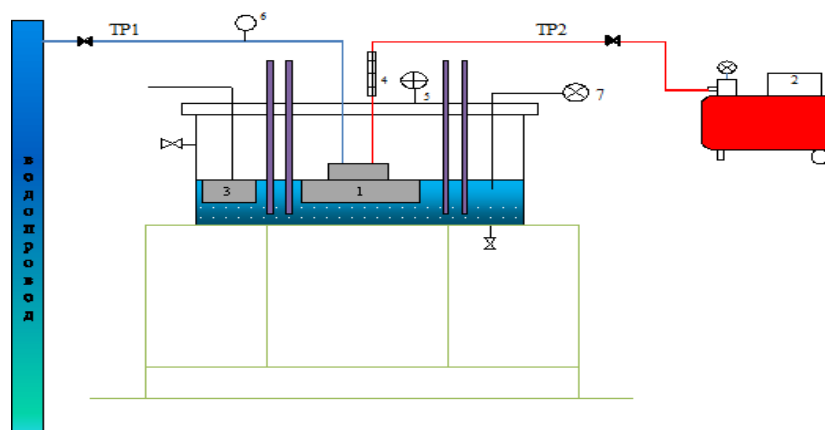
5. Фенол ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$): Сорбция, озонирование, механическая очистка, парофазное окисление, жидкофазная очистка, биологическая очистка;

6. Фосфаты (PO_4^{3-}): Биологическая фильтрация, отстойники, гидроциклоны, реагентная очистка, обратный осмос, адсорбция, ионообмен, коагуляция, окисление с последующей нейтрализацией известковым молоком озоном, хлором, кислородом воздуха;

7. Фтор: Реагентная очистка, сорбция, обратный осмос, ионообмен;

8. Хлориды (Cl^-): Сорбция, обратный осмос, ионообмен.

На рисунке 1 представлена схема экспериментального стенда.



Экспликация

1	Аэратор
2	Компрессор
3	Кислородомер
4	Ротаметр
	Патрубки для электродов/электроды
TR1	Трубопровод подачи воды в Аэратор
TR2	Трубопровод подачи возд. (газа) в Аэратор
	Кран подачи/слива воды
5	Счетчик газа на входе в емкость
6	Расходомер воды
7	Счетчик газа на выходе из емкости

Рис. 1. Экспериментальный стенд

Fig 1. Experimental stand

Также установка включает в себя источник воды, компрессор, запорные краны, манометры, расходомер воды, ротаметр и пневмогидравлический аэратор (Рисунок 1).

Методика подключения экспериментальной емкости:

1. Установить емкость из оргстекла на опорный металлический стенд;

2. Подсоединить краны подачи/слива воды;
 3. Подсоединить трубопровод TP1 к водопроводу, а также к аэратору (1);
 4. Установить на трубопроводе TP1 расходомер воды (6);
 5. Подсоединить трубопровод TP2 к компрессору (2), а также к аэратору (1);
 6. Установить на трубопроводе TP2 ротаметр (4);
 7. Установка датчика газоанализатора, счетчика газа на входе/выходе в емкость (5, 7), регулировка и настройка приборов (при необходимости произвести калибровку);
 8. Установка аэратора в емкость;
 9. Установка кислородомера (3);
 10. Наполнение емкости водопроводной водой (35-40°), до появления ее из контрольного крана;
 11. Внесение в протокол эксперимента начальных данных (температура среды, pH, содержание кислорода по газоанализатору, показания расходомера);
 12. Одновременный запуск автоматической записи показаний газоанализатора с интервалом 5 сек.;
 13. Внесение в протокол эксперимента текущих данных (давление воды, воздуха по манометрам, расход воздуха по ротаметру).
- Лабораторные исследования составляли основную часть выполненной работы, и включали в себя отработку оптимальных режимов, выяснение физической природы процессов, протекающих в аэраторе, регистрацию основных и вспомогательных параметров изучаемых режимов

работы, а также был отработан процесс смены раствора, создание различных модельных сред в емкости.

Методика экспериментальных исследований строилась следующим образом:

- измерялся расход воды и воздуха;
- измерялось давление воды и воздуха;
- измерялось число оборотов аэратора;
- измерялись диаметры пузырьков воздуха;
- измерялась растворимость кислорода в воде.

Основной вариант работы:

Вода подается из хозяйственно питьевого водопровода, а воздух нагнетается из компрессора, с давлением от 0,15 до 0,4 МПа. Сначала необходимо, при всех закрытых вентилях, накачать компрессор до необходимого давления. Затем открыть вентили, воздух начнет поступать в аэратор, далее открыть вентиль для подачи воды, регулируя необходимое давление. Аэратор начинает вращаться [10].

Работа системы фиксируется на высокоскоростную камеру марки rso.1200s. Эта модель германского производства позволяет записывать изображения с высоким разрешением и низким уровнем шума. Скоростная съемка позволяла исследовать динамику течения многофазной среды и развития струи при выходе из канала аэратора в испытательный резервуар.

Полученные при проведении эксперимента данные заносились в таблицы 1 и 2, по которой рассчитывались искомые параметры окислительной способности и эффективности, производились расчёты.

Таблица 1. Модельные стоки

Table 1. Model drains

Реагент	г
Карбонат натрия	0,05
Натрий уксоснокислый	0,05
Калий фосфорнокислый	0,025
Фосфорнокислый аммоний	0,025
Хлорид кальция	0,007
Сульфат магния	0,005
Пептон	0,15
Вода 1л	

Таблица 2. Результаты измерений. Модельные стоки

Table 2. Measurement results. Model drains

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Время проведения эксперимента t, мин	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4	5
Объём аэрируемой жидкости V, дм ³									
Количество сульфита натрия мг/дм ³									
Количество азота нитратного мг/дм ³	2,67	1,41	1,51	1,57	1,62	1,60	1,67	1,72	1,77

Продолжение таблицы 2
Continuation of table 2

Количество азота нитритного мг/дм ³	40837	40832	40828	40820	4820	4820	4820	4820	4820	
Количество азота аммонийного мг/дм ³										
Количество сульфатов мг/дм ³										
Количество фенола мг/дм ³										
Количество фосфатов мг/дм ³										
Количество фтора мг/дм ³	0,970	0,974	0,970	0,954	0,941	0,917	0,884	0,869	0,855	
Количество хлорида мг/дм ³										
Солесодержание $S=m/v$, г/дм ³										
Мощность двигателя компрессора N, кВт										
Расход воды по водосчётчику $Q_{ж}$, дм ³										
Суммарный объём аэрируемой жидкости $V_{ж}$, дм ³	140									
Расход воздуха по ротаметру $Q_{г}$, дм ³	25									
Давление в системе P, МПа										
Концентрация растворённого кислорода, мг/дм ³	C_1 в начале эксперимента	9,48	9,54	9,78	9,98	10,00	10,05	10,12	10,20	10,23
	C_2 в конце эксперимента									
Температура воздуха $T_{г}$, °С	21									
Температура воды $T_{ж}$, °С	5									
Текущее атмосферное давление $P_{а}$, мм.рт.ст.	718									

По данным таблицы можно составить графики показывающие изменения показателей азота, фтора, концентрации растворенного кислорода в модельной жидкости в разных временных промежутках, при температуре 21 °С (Рисунки 2-5).

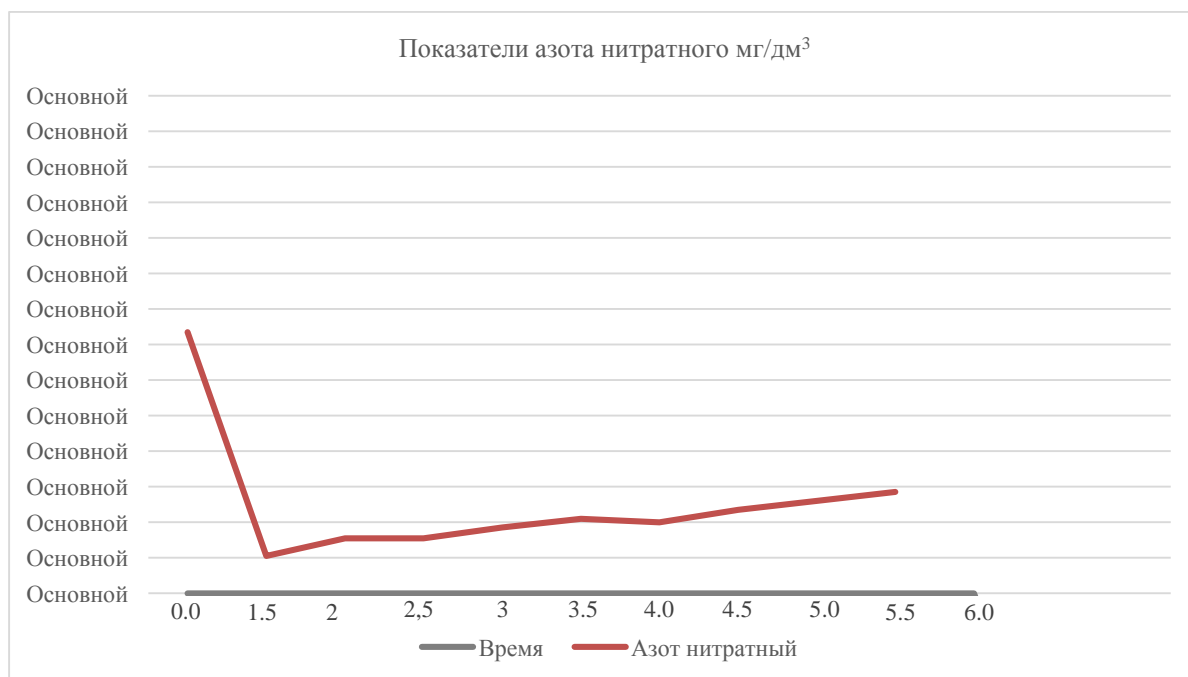


Рис. 2. Показатели азота нитратного

Fig 2. Nitrate Nitrogen figure

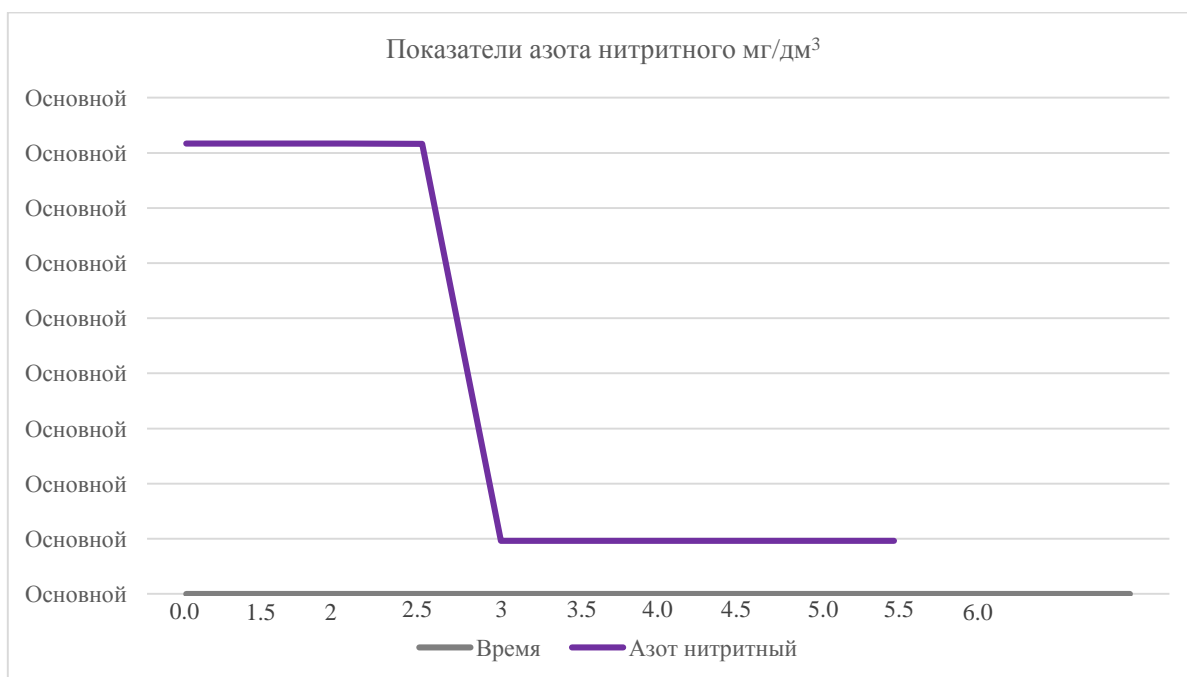


Рис. 3. Показатели азота нитритного

Fig 3. Nitrite Nitrogen figure

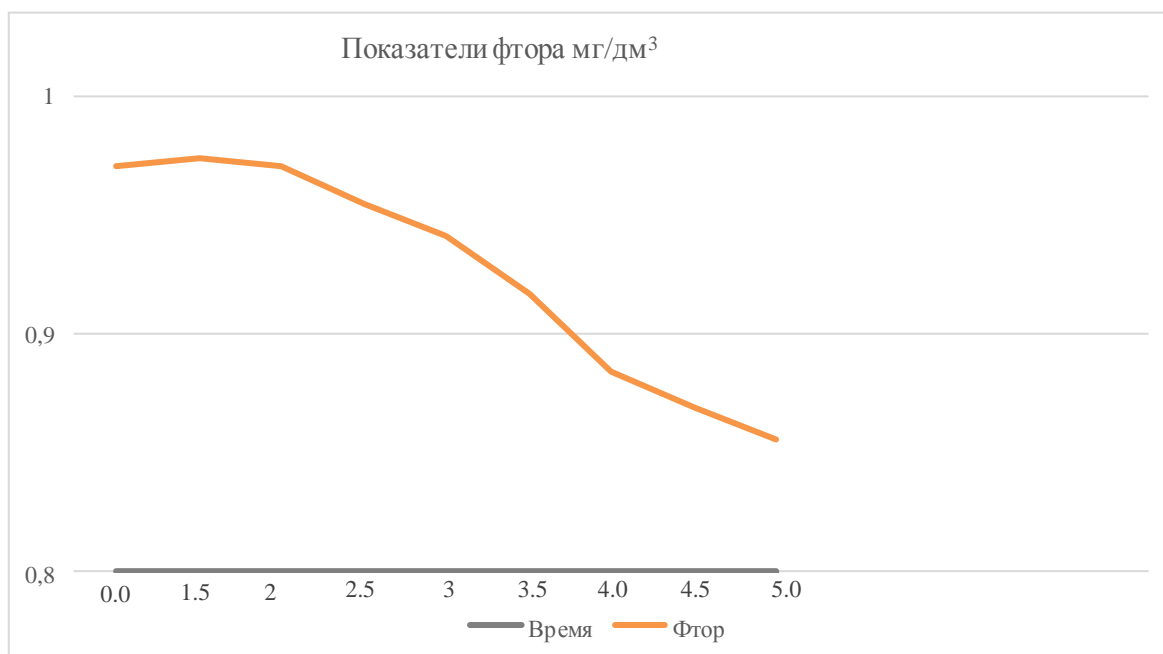


Рис. 4. Показатели фтора

Fig 4. Fluoride figure



Рис. 5. Показатели растворенного кислорода

Fig 5. Dissolved Oxygen figure

Таким образом, можно сделать вывод, что продолжительная аэрация помогает снизить показатели нитратов, нитритов и фтора.

РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА УСТАНОВОК

Для применения КМУ СЖО был взят для расчета спортивно-оздоровительный лагерь.

ИРНИТУ имеет в своем распоряжении спортивно-оздоровительный лагерь “Политехник”, который находится на 17 километре Байкальского тракта. В лагере созданы все условия для полноценного отдыха: летние домики, клуб, тренажерный зал, футбольное поле, волейбольная и баскетбольная площадки, трасса для кросса. Лагерь готов к приему детей, выдержаны необходимые санитарные нормы, территория обработана противоклещевыми препаратами. Вблизи футбольного поля расположен душ.

Расположением комплексной мобильной установки для систем жизнеобеспечения может быть область между душами и столовой, место находится вблизи дороги, что не составит трудности в эксплуатации и подъезду техники.

За три заезда в лагере будет пребывать около 300 студентов и еще 30 детей сотрудников. Среднее число людей за один заезд составит 115 человек, включая сотрудников. Для расчётов принимается физкультурно-оздоровительное учреждение со столовыми на полуфабрикатах, без стирки белья. Согласно СП 30.13330.2016 [11], расход воды на одного человека принимается 60 л/сут. (в т.ч. горячей воды 25,5 л/сут.). Расход горячей и холодной воды составит:

$$Q = \frac{q \cdot m}{1000} = \frac{34,5 \cdot 115}{1000} = 3,97 \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (1)$$

$$Q = \frac{q \cdot m}{1000} = \frac{25,5 \cdot 115}{1000} = 2,93 \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (2)$$

где q - норма водопотребления/водоотведения на человека для ХВС и ГВС;
m – количество человек.

В зимний период:

$$Q = \frac{q \cdot m}{1000} = \frac{34,5 \cdot 30}{1000} = 1,04 \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (3)$$

$$Q = \frac{q \cdot m}{1000} = \frac{25,5 \cdot 30}{1000} = 0,77 \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (4)$$

Расчет количества установок проводится по данным летнего периода, так как в этот период происходит максимальное водопотребление. Одна установка имеет мощность 5 кВт, что позволяет очистить 4 м³ сточной воды в сутки, тогда, для очистки 6,9 м³/сут. понадобятся 2 установки.

Предложен механизм энергосберегающего аэрирующего устройства, который позволяет отказаться от перемешивающих устройств, использующих дополнительную электроэнергию, и применить механизм получения вращательного движения только за счет гидро-аэродинамики самой струи по принципу Сегнера колеса.

Определены характеристики взаимодействия кислорода и активного ила на примере моделей, использующих: сульфит натрия, азот нитратный,

азот нитритный, азот аммонийный, сульфаты, фенол, фосфаты, фтор, хлориды.

Разработаны теоретические и методологические основы расчета технологий с применением пневмогидравлической аэрации при биохимической очистке, моделируя различные среды [12-19].

Целью работы являлось создание промышленного образца комплексной мобильной установки для систем жизнеобеспечения (КМУ

СЖО) (Рисунок 6), доработка автоматической системы управления с учетом различных факторов таких как степень автономности, текущие и прогнозируемые погодные условия, и использование различных predetermined и случайных сценариев работы системы. Дополнительно предполагается интеграция КМУ СЖО с системами аварийной связи.

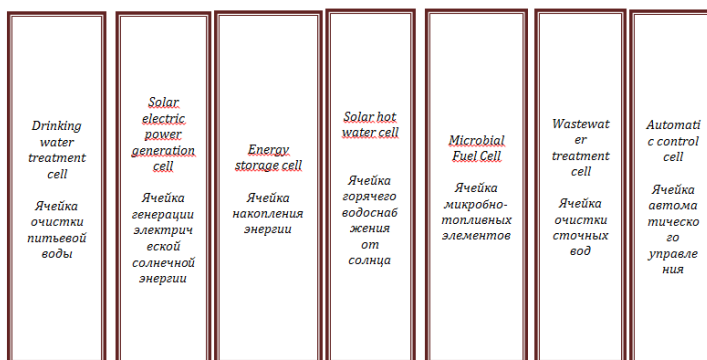


Рис. 6. Мобильная установка систем жизнеобеспечения для рекреационных зон, состоящая из 7 ячеек

Fig 6. Mobile station of life support systems for recreational areas, consisting of 7 cells

Для расчёта требуемого количества солнечных коллекторов на 115 человек на заезд потребуется учесть ряд поправок, таких как: количество пасмурных дней за месяц и средняя за месяц продолжительность солнечного дня. Сезон в лагере длится в течение 3-х месяцев. В расчётах использовался плоский солнечный коллектор SUN 1 [20-22], разработанный и запатентованный в ИРНТУ. В дальнейшем в данных установках будут также использованы солнечные коллекторы SUN 3 [23-24].

Результаты расчёта указаны в таблице 3.

Таблица 3. Результаты расчёта необходимого количества солнечных коллекторов

Table 3. The results of calculating the required number of solar collectors

Месяц	Июнь	Июль	Авг.	Сезон
Продолжительность месяца, день	30	31	31	92
Среднемесячные значения солнечной энергии, падающей на оптимально ориентированную поверхность, кВт·час/м ² ·день	5,4	4,7	4,31	4,80
Количество пасмурных дней	8,1	11,1	9,5	28,7
Средняя продолжительность солнечного дня, час	8,8	7,8	7	7,9
Суммарное значение солнечной энергии за месяц, кВт·час/м ²	118,26	93,53	92,67	304,05
Среднечасовое значение солнечной энергии за месяц, кВт·час/м ²	0,61	0,60	0,62	0,61
Часовой расход воды на ГВС, л/час	122,19	122,19	122,19	122,19
Суточный расход воды на ГВС, л/сут.	2 932,50	2 932,50	2 932,50	2 932,50
Суточная тепловая нагрузка на ГВС, кВт/сут.	126,10	126,10	126,10	126,10
Требуемая мощность солнечных коллекторов, кВт/час	14,33	16,17	18,01	16,03
Среднечасовая производительность солнечного коллектора SUN 1, кВт/час	0,75	0,74	0,75	0,74
Требуемое количество солнечных коллекторов SUN 1, шт.	19	22	24	22

Одна установка позволяет разместить от 2-х до 10-ти солнечных коллекторов в зависимости от комплектации. В случае с рассматриваемым объектом оптимальное количество солнечных коллекторов на 1 установку составляет 6 шт., что позволит увеличить в установке количество оборудования для генерации электроэнергии: микробно-топливные элементы [25-27] и солнечные панели [28]. Таким образом, для очистки стоков и нагрева воды для ГВС понадобится 4 мобильных установки.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Исследована КМУ СЖО, которая дополнительно осуществляет очистку воды до уровня утилизации на основе энергоэффективных запатентованных технологий очистки сточных вод. Показаны зависимости очистки от азота и фтора при содержании кислорода на модельных стоках.

2. Приведен пример расчета количества установок для лагеря «Политехник» ИРНИТУ. Установка является автономной системой, обеспечивающей электроснабжением двух-трехфазным переменным током и теплоснабжением объекты при использовании энергии ветра, солнца и двигателя внутреннего сгорания.

3. К основным источникам возобновляемой энергии, таким как солнце и ветер, предполагается использование микробных топливных элементов.

4. Отличительной особенностью установки является повышение надежности и качества энергоснабжения, снижение расхода топлива дизельной генераторной установки путем оптимизации ее работы в системе, повышение КПД системы за счет управления режимом работы КМУ СЖО с помощью автоматической системы управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод / Учебное издание: - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009 – 760 с. // Толстой М.Ю. – глава 11 (§ 11.5).
2. Алексеев Е.В., Саломеев В.П., Залетова Н.А., Алексеев С.Е., Гогина Е.С., Ружицкая О.А. Водоотведение и водная экология. Учебно-методическое пособие / Москва, АСВ – 2016 г. – 237 с.
3. Попкович Г.С., Репин Б.Н. Системы аэрации сточных вод. – М.: Стройиздат, 1986 г. – 136 с.
4. Воронов Ю.В., Казаков В.Д., Толстой М.Ю. Струйная аэрация. Монография // Учебно-методическое объединение ассоциации строительных вузов России. Москва, АСВ – 2007 г. – 162 с.
5. Николенко И.В., Пастушенко А.В., Котовская Е.Е. Анализ влияния условий эксплуатации насосной станции на параметры

насосных агрегатов// MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. - Lublin. –2010. – Vol. 12D – P. 33 - 44 . (57)

6. Баженов В.И., Березин С.Е., Устюжанин А.В. Обоснование строительства воздухоудных станций на базе экономического анализа затрат жизненного цикла / Водоснабжение и санитарная техника. 2015. № 2. С. 46-53.

7. Алексеев Е.В. Очистка сточных вод флотацией. Основы технологии и применение / Московский государственный строительный университет (национальный исследовательский университет). Монография. 2015. Москва, Издательство АСВ (Москва). 160 с.

8. Толстой М.Ю., Орлов А.В., Полканов А.Г., Канторович С.И., Куртин А.В. Применение эрлифта в комбинированном сооружении // Актуальные проблемы градостроительства и благоустройства территорий: Тезисы доклада II Международной научно-технической конференции. – Кишинёв, 2004 г. – С. 31 – 233.

9. Казаков В.Д., Толстой М.Ю., Хан В.В., Кочержинский В.В., Куртин А.В., Кантарович С.И., Орлов А.В., Паутов М.И. Способ аэрации жидкости. Патент на изобретение RUS 2250140. Опубликовано: 20.04.2005 Бюл. № 11.

10. Stom D.I., Konovalova E.Y., Zhdanova G.O., Vyatchina O.F., Tolstoy M.Y. ACTIVE SLUDGE AND STRAINS ISOLATED FROM IT AS BIOAGENTS IN BIOFUEL CELLS // в сборнике: International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 17, Energy and Clean Technologies. 2017. С. 19-26.

11. Свод правил СП 32.13330.2012 "СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения" (утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 29 декабря 2011 г. N 635/11).

12. Толстой М.Ю. Исследования и разработка мобильной установки для систем жизнеобеспечения с применением энергосберегающих технологий / Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2017. № 3 (32). С. 81-94.

13. Толстой М.Ю., Белоокая Н.В., Попова Е.М., Толстой В.М. Исследования пневмогидравлической аэрации и разработка на ее основе мобильной установки для систем жизнеобеспечения // В сборнике: ЯКОВЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ сборник докладов XII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. 2017. С. 157-166.

14. Илькевич Н.И., Толстой В.М., Толстой М.Ю. Оценка воздействия систем жизнеобеспечения рекреационных зон на прибрежную территорию озера Байкал // В сборнике: Качество городской среды: строительство, архитектура и дизайн. Материалы

Всероссийской научно-практической конференции. 2017. С. 296-299.

15. Gogina E., Shmal'ko V., Tolstoy M. Technology of Wastewater Treatment of the Baikal Natural Territory. Ecology and Industry of Russia. 2018;22(7):11-15. (In Russ.) <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-7-11-15>.

16. Shcherbakov, V., Akulshin, A., Chizhik, K., Tolstoy, M. Design of interacting wells for optimization of investments and operating costs while constructing water-diverting structures // 2018 MATEC Web of Conferences 251,03037 / Volume 251, 14 December 2018, Номер статьи 030376th International Scientific Conference on Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education, IPICSE 2018; Moscow; Russian Federation; 14 November 2018 до 16 November 2018; Код 143421. DOI: 10.1051/matec/conf/201825103037

17. Леонтьев А.В., Стом Д.И., Толстой М.Ю., Чижик К.И. Исследование интенсификации процессов флотационной и биологической очистки сточных вод на основе применения модельных стоков // Строительство и техногенная безопасность. 2018. № 11 (63). С. 205-212.

18. Белоокая Н.В., Попов В.С., Попова Е.М., Толстой В.М., Толстой М.Ю. Исследование применения энергосберегающих установок систем жизнеобеспечения для природоохранных территорий // Строительство и техногенная безопасность. 2018. № 12 (64). С. 91-97.

19. Пономарева А.Л., Стом Д.И., Толстой М.Ю. Интенсификация очистки сточной воды от нефтепродуктов с помощью катализаторов типа «КАТАН» и штаммов биодеструкторов нефти / В мире научных открытий, № 8.1 (68). – 2015. – С. 327-333.

20. Tunik A.A., Tolstoy M.Y. Hydraulic optimization of the flat solar collectors SUN 1 and the temperature gradient of the heat carrier in a system of connected solar units//2018 International Scientific Conference “Investment, Construction, Real Estate: New Technologies and Special-Purpose Development Priorities” (ICRE 2018), 15 October 2018 MATEC Web Conf. Volume 212, 2018. Article Number 02007 Number of page(s) 9, Section Energy-efficient and Environmentally Friendly Buildings DOI <https://doi.org/10.1051/matecconf/201821202007>.

21. Толстой М.Ю., Акинина Н.В., Туник А.А., Патент на полезную модель RU № 112364 U1, F24J2/24 (2006.01), Солнечный коллектор, Опубл. 10.01.2012. Бюл. № 1.

22. Туник, А.А. Разработка солнечного коллектора с учетом климатической зоны Восточной Сибири // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2012.— № 3 (62).— С. 101-105.

23. Толстой М.Ю., Туник А.А., Лапковский А.А. Солнечный коллектор. Патент на полезную модель RU № 153795 U1 опубликовано 10.08.2015 г. Бюл. № 22.

24. Зуев И.А., Толстой М.Ю., Туник А.А. Разработка нового солнечного коллектора SUN 3 для теплоснабжения и горячего водоснабжения объектов социальной и жилищной сферы Иркутской области / Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость: научный журнал. – Иркутск: Изд-во ИРНТУ, 2016. – № 4 (19). – С. 100-113.

25. Konovalova E.Yu., Stom D.I., Balayan A.E., Protasov E.S., Tolstoy M.Y., Tyutyunin V.V. Using microbial fuel cells for utilization of industrial wastewater / 2014 International Conference on Industrial, Mechanical and Manufacturing Science (ICIMMS 2014) will be held in Tianjin, China during June 12-13, 2014.

26. Коновалова Е.Ю., Стом Д.И., Быбин В.А., Пономарева А.Л., Жданова Г.О., Толстой М.Ю. Микробный биотопливный элемент. Патент на полезную модель RU № 153691 U1 опубликовано 27.07.2015 г. Бюл. № 21.

27. Konovalova E.Y., Stom D.I., Balayan A.E., Protasov E.S., Tolstoy M.Y., Tyutyunin V.V. Using microbial fuel cells for utilization of industrial wastewater. Industrial, Mechanical and Manufacturing Science - Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial, Mechanical and Manufacturing Science, ICIMMS 2014, 2015. – pp. 71-74 (<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84941620153&partnerID=40&md5=d5f8601d0e6e5f4731dbae86af2d9653>)

28. Tunik A.A., Tolstoy M.Y. Complex Mobile Independent Power Station for Urban Areas (2017) IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 262 (1), статья № 012227, <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85037998695&origin=resultslist>

REFERENCES

1. Voronov Y.V. Water disposal and wastewater treatment / Academic edition: - M.: Izdatel'stvo Associacii stroitel'nih vuzov, 2009 – 760 p. // Tolstoy M.Y. – chapter 11 (§ 11.5).

2. Alekseev E.V., Salomeev V.P., Zaletova N.A., Alekseev S.E., Gogina E.S., Rujitskaya O.A. Water disposal and water ecology. Educational-methodical manual / Moscow, ACB – 2016 – 237 p.

3. Popkovich G.S., Repin B.N. Wastewater aeration systems. – M.: Stroyizdat, 1986 – 136 p.

4. Voronov Y.V., Kazakov V.D., Tolstoy M.Y. Jet aeration. Monograph // Uchebno-metodicheskoe ob'edinenie stroitel'nih vuzov Rossii. Moscow, ACB – 2007 – 162 p.

5. Nikolenko I.V., Pastushenko A.V., Kotovskaya E.E. Analysis of the influence of the pumping station operating conditions on the pumping units parameters // MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. - Lublin. –2010. – Vol. 12D – P. 33 - 44 . (57)

6. Bazhenov V.I., Berezin S.E., Ustiuhanin A.V. Feasibility of air blower house construction on the basis

- of life cycle costs evaluation / *Water Supply and Sanitary Technique*. 2015. № 2. pp. 46-53.
7. Alekseev E.V. Wastewater treatment by flotation. Technology basics and application. / Moscow State University of Civil Engineering (National research university). Monograph. 2015. Moscow, Izdatelstvo ASV. 160 p.
 8. Tolstoy M.Y., Orlov A.V., Polkanov A.G., Kantarovich S.I., Kurtin A.V. The use of airlift in a combined structure // *Aktual'nie problemi gradostroitel'stva i blagoustroistva territoriy*. The report abstracts: II International science and technology conference. – Kishinev, 2004 – pp. 31 – 233.
 9. Kazakov V.D., Tolstoy M.Y., Khan V.V., Kocherzhinskij V.V., Kurtin A.V., Kantarovich S.I., Orlov A.V., Pautov M.I. Method of aeration of liquids. Patent RUS 2250140. Pub.: 20.04.2005 Bul. № 11.
 10. Stom D.I., Konovalova E.Y., Zhdanova G.O., Vyatchina O.F., Tolstoy M.Y. ACTIVE SLUDGE AND STRAINS ISOLATED FROM IT AS BIOAGENTS IN BIOFUEL CELLS // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 17, Energy and Clean Technologies*. 2017. pp. 19-26.
 11. SP 32.13330.2012. "Sewerage. Pipelines and wastewater treatment plants" (approved by the order of the Ministry of Regional Development (Russia) from 29 of December 2011. N 635/11).
 12. Tolstoy M.Y. Researches and developments of a mobile unit for life support systems with the use of energy saving technologies / *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2017. № 3 (32). pp. 81-94.
 13. Tolstoy M.Y., Belokaya N.V., Popova E.M., Tolstoy V.M. Researches of pneumohydraulic aeration and development of a mobile station for life support systems on its basis // *In miscellanea: JAKOVLEVSKIE CHTENIYA sbornik dokladov XII Mejdunarodnoy nauchno-technicheskoy konferencii, posviaschennoy pamyati akademika RSA S.V. Jakoveva*. National research Moscow State University of Civil Engineering. 2017. pp. 157-166.
 14. Ikevich N.I., Tolstoy V.M., Tolstoy M.Y. The impact assessment of life support systems of recreational areas on the Baikal Lake coastal territory // *In miscellanea: Kachestvo gorodskoy sredi: stroitel'stvo, arhitektura i dizain. Materiali Vserossiyskoy nauchno-technicheskoy konferencii..* 2017. pp. 296-299.
 15. Gogina E., Shmal'ko V., Tolstoy M. Technology of Wastewater Treatment of the Baikal Natural Territory. *Ecology and Industry of Russia*. 2018;22(7):11-15. (In Russ.) <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-7-11-15>.
 16. Shcherbakov, V., Akulshin, A., Chizhik, K., Tolstoy, M. Design of interacting wells for optimization of investments and operating costs while constructing water-diverting structures // 2018 MATEC Web of Conferences 251,03037 / Volume 251, 14 December 2018, Article number 030376th International Scientific Conference on Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education, IPICSE 2018; Moscow; Russian Federation; 14 November 2018 до 16 November 2018; Код 143421. DOI: 10.1051/matec-conf/201825103037.
 17. Leontiev A.V., Stom D.I., Tolstoy M.Y., Chizhik K.I. Investigation of the intensification of flotation and biological wastewater treatment processes based on the application of model straws // *Construction and industrial safety*. 2018. № 11 (63). pp. 205-212.
 18. Belokaya N.V., Popov V.S., Popova E.M., Tolstoy V.M., Tolstoy M.Y. Study of the application of energy-saving installations of life support systems for environmental protection areas // *Construction and industrial safety*. 2018. № 12 (64). pp. 91-97.
 19. Ponomareva A.L., Stom D.I., Tolstoy M.Y. Intensification treatment of wastewater of oil pollution using the catalysts "Katan" and strains of biodegraders oil / *In the World of Scientific Discoveries*, № 8.1 (68). – 2015. – pp. 327-333.
 20. Tunik A.A., Tolstoy M.Y. Hydraulic optimization of the flat solar collectors SUN 1 and the temperature gradient of the heat carrier in a system of connected solar units//2018 International Scientific Conference "Investment, Construction, Real Estate: New Technologies and Special-Purpose Development Priorities" (ICRE 2018), 15 October 2018 MATEC Web Conf. Volume 212, 2018. Article Number 02007 Number of page(s) 9, Section Energy-efficient and Environmentally Friendly Buildings DOI <https://doi.org/10.1051/matecconf/201821202007>.
 21. Tolstoy M.Y., Akinina N.V., Tunik A.A., Patent RF no. 112364 U1, F24J2/ 24 (2006.01), Solar collector, Bul. № 1, (2012).
 22. Tunik A.A. Development of a solar collector with the regard for the Eastern Siberia climatic zone // *Vestnik of ISTU*. — 2012.— № 3 (62).— pp. 101-105.
 23. Tunik A.A., Tolstoy M.Y., Lapkovskiy A.A., Patent RF no.153795 U1, F24J 2/24 (2006.01), Solar collector, Bul. № 22, (2015).
 24. Zuev I.A., Tolstoy M.Y., Tunik A.A. Development of the new solar collector SUN 3 for heating and hot water supply of social and housing sphere in the Irkutsk region // *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate : science journal*. – Irkutsk: Izdatel'stvo IRNITU, 2016. – № 4 (19). – pp. 100-113.
 25. Konovalova E.Y., Stom D.I., Balayan A.E., Protasov E.S., Tolstoy M.Y., Tyutyunin V.V. Using microbial fuel cells for utilization of industrial wastewater / 2014 International Conference on Industrial, Mechanical and Manufacturing Science (ICIMMS 2014) will be held in Tianjin, China during June 12-13, 2014.
 26. Konovalova E.Y., Stom D.I., Bibin V.A., Ponomareva A.L., Jdanova G.O., Tolstoy M.Y. Microbial biofuel cell. Patent RU № 153691 U1 publ. 27.07.2015. Bul. № 21.
 27. Konovalova E.Y., Stom D.I., Balayan A.E., Protasov E.S., Tolstoy M.Y., Tyutyunin V.V. Using microbial fuel cells for utilization of industrial wastewater. *Industrial, Mechanical and Manufacturing Science - Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial, Mechanical and*

Manufacturing Science, ICIMMS 2014, 2015. – pp. 71-74
 (http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84941620153&partnerID=40&md5=d5f8601d0e6e5f4731dbae86af2d9653)

28. Tunik A.A., Tolstoy M.Y. Complex Mobile Independent Power Station for Urban Areas (2017) IOP

Conference Series: Materials Science and Engineering, 262 (1), статья № 012227, <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85037998695&origin=resultlist>

APPLICATION RESEARCH OF THE COMPLEX MOBILE STATION FOR LIFE SUPPORT SYSTEMS IN SPECIAL ENVIRONMENTAL TERRITORIES

M.Yu. Tolstoy¹, N.V. Belookaya², A.A. Tunik³, E.M. Popova⁴, V.S. Popov⁵

¹ Irkutsk National Research Technical University, 664074, Irkutsk, Lermontova str., 83, e-mail: tolstoi@istu.edu

² Limited Liability Company “Innovation Center “Energy Efficiency”, 664082, Irkutsk, YuryTena Passage, 4-30, e-mail: bnv60@rambler.ru

³ Irkutsk National Research Technical University, 664074, Irkutsk, Lermontova str., 83, e-mail: alextun@mail.ru

⁴ Irkutsk National Research Technical University, 664074, Irkutsk, Lermontova str., 83, e-mail: tolstaya87@bk.ru

⁵ Irkutsk National Research Technical University, 664074, Irkutsk, Lermontova str., 83, e-mail: patronia@inbox.ru

Abstract. The results of studies of a complex mobile station for life support systems are presented. This station has the electric energy and thermal energy production functions, so as wastewater treatment and drinking water preparation. The production of electrical energy occurs through the conversion of solar energy and the use of microbial fuel cells. In addition, it's possible to use wind generators and diesel generator as a part of the station. Thermal energy for the hot water system is obtained using solar collectors. Using of heat pumps are also possible. The mixing of the liquid due to the rotation of the pneumohydraulic aerator was investigated. The possibility of combining various technologies for wastewater treatment in one combined mobile station is shown. A wastewater treatment plant is proposed based on the research. Studies of the biochemical treatment processes modeling in an complex mobile station for life support systems are presented. The required number of complex mobile stations for life support systems, namely for wastewater treatment and hot water supply of the sports and recreation camp «Polytechnic», which is located at 17 km of the Baikal Highway, has been calculated. The calculations took into account the number of residents per season, water consumption and wastewater rate, the geographic location of the camp, the average number of cloudy days in the area and the number of sunny hours. The authors pay special attention to the fact, that the developed complex mobile station will ensure energy supply and disposal of wastewater from facilities located in recreational and special environmental territories without environmental consequences and violation of environmental and sanitary requirements. At the same time, the installation can be used on various types of objects.

Subject: There is the Baikal Lake 50 kilometers from the camp «Polytechnic» upstream the Angara River, a UNESCO World Heritage Site, and Irkutsk water intake is located downstream of the Angara. In this regard, there are serious requirements for the wastewater disposal and energy supply of the objects, located in the river area throughout the entire Baikal Highway, not to mention their remoteness from central energy sources and utilities.

Materials and methods: In studies, an experimental stand for wastewater treatment laboratory, empirical and analytical methods were used.

Results: Complex mobile station for life support systems was investigated, which additionally carries out water treatment to the disposal level based on energy efficient patented wastewater treatment technologies. The dependences of purification from nitrogen and fluorine at the oxygen content on model drains are shown. The calculation of the number of installations for the camp "Polytechnic" of INRTU is given.

Conclusions: The station is an autonomous system that provides electric power for two-three-phase alternating current and heat supply for objects using wind, solar and internal combustion engine. Besides the main sources of renewable energy, such as the sun and wind, microbial fuel cells are supposed to use too. A distinctive feature of the station is increasing the reliability and quality of energy supply, reducing the fuel consumption of a diesel generator by optimizing its operation in the system, increasing the efficiency of the system by controlling the operating mode of the mobile station using an automatic control system.

Key words: Complex mobile installation for the life support systems, solar collector, mobile unit for wastewater treatment, water disposal, pneumatic-hydraulic aerator, mixing of wastewater and sludge, hot water supply.

УДК 628.1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ.

Салиева М.Э., Салиев Э.И.

Крымский Федеральный университет имени В. И. Вернадского, Академия Строительства и Архитектуры, г. Симферополь, ул. Киевская, 181, корп. 3,

Аннотация: В статье, на примере систем водоснабжения и водоотведения, рассмотрены факторы конструктивного, производственно-технологического и эксплуатационного характера которые непосредственно или косвенно влияют на формирование свойств ремонтпригодности и количественные значения характеристик, используемых для задания и оценки этого свойства.

Ключевые слова: ремонтпригодность, конструктивные факторы, производственно- технологические факторы, эксплуатационные факторы.

Утечка воды из систем водоснабжения и водоотведения является следствием тех или иных повреждений труб, нарушений и дефектов в работе конструктивных элементов, оборудования, агрегатов и сетевой арматуры. Повреждения приносят большие убытки, которые связаны с простым трубопроводом, потерями воды, затоплениями, перебоями в водоснабжении, затратами на производство ремонтных работ.

Обеспечение требований бесперебойного водоснабжения налагает определенные ограничения на производство ремонтных работ и нередко их усложняет. Своевременное обнаружение, локализация и ликвидация возникающих аварий, систематическая регистрация, изучение причин нарушений в работе, аварий трубопроводов и сооружений на них являются одним из основных требований правил технической эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения. Хорошо организованное изучение и анализ причин аварий позволяет предвидеть возможность их возникновения, своевременно принимать меры для их предотвращения и тем самым существенно повысить общую надежность и бесперебойность водоснабжения.

В данной статье предлагается рассмотреть одну из составляющей надежности – ремонтпригодность конструктивных элементов, оборудования и агрегатов систем водоснабжения и водоотведения с точки зрения факторов влияющих на значение характеристик ремонтпригодности.

Ремонтпригодность свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

От ремонтпригодности объектов в значительной мере зависит вероятность отказов и продолжительность устранения их последствий.

В результате обработки фактических материалов по выполнению ремонтно- восстановительных работ на данном объекте средняя продолжительность его восстановления составляет:

$$t_{cp}^p = \frac{1}{n} \cdot \sum_1^n t_i \quad (1)$$

где: n – количество ремонтно- восстановительных работ, выполненных на объекте за период наблюдений;

t_i – продолжительность отдельных работ.

Вероятность продолжительности выполнения ремонтно - восстановительной работы:

$$F_{(t)}^P = 1 - e^{-\mu \cdot t} \quad (2)$$

где: μ - интенсивность восстановления; t - продолжительность ремонтно- восстановительной работы.

Факторы ремонтпригодности могут рассматриваться с позиций возможности управления ими и количественного их измерения. Значительную часть факторов можно оценить количественно, некоторые факторы носят качественный характер, но они не имеют количественной меры. Эти особенности факторов определяют методы их изучения и оценки.

Например, при изучении качественных факторов используются методы дисперсионного анализа, в то время как при изучении количественных факторов может быть использован как дисперсионный анализ, так и методы регрессионного анализа.

Ремонтпригодность системы водоснабжения и водоотведения является функцией факторов конструктивного, производственно-технологического и эксплуатационного характера. Состав каждой из этих групп факторов, их влияние на значение характеристик ремонтпригодности определяются назначением и конструктивными особенностями системы подачи воды и отвода стоков, условиями её эксплуатации, технического обслуживания и ремонта.

Конструктивные факторы. При рассмотрении влияния факторов конструктивного характера на ремонтпригодность систем водоснабжения и водоотведения необходимо учитывать, что конструктивные решения, принимаемые на этапе создания системы, определяют не только

свойства ее конструкции, но и характер их проявления при изготовлении и эксплуатации. Влияние конструктивных особенностей системы водоснабжения и водоотведения при ее изготовлении проявляется преимущественно в величине затрат на обеспечение требуемых свойств в определенных организационно-технических условиях производства.

Создание конструкции систем водоснабжения и водоотведения, которая бы вовсе не реагировала на изменение режимов ее работы, представляет большие трудности, а в ряде случаев экономически нецелесообразно. Однако можно требовать, чтобы влияние режимов работы системы водоснабжения и водоотведения на изменение ее характеристик не превышало определенных границ, исходя из установленных технико-экономических показателей.

Конструктивные решения принимаемые на этапе проектирования систем водоснабжения и водоотведения, определяют характер и объем работ, которые должны выполняться при различных видах технического обслуживания и ремонта при принятой периодичности или периодичности технических обслуживаний, ремонтов для принятого характера и объема работ, осуществляемых с целью поддержания и восстановления работоспособности и ресурса различных конструктивных элементов систем водоснабжения и водоотведения.

В виду проведения технического обслуживания и ремонтных работ конструктивные факторы влияют на продолжительность неработоспособного состояния систем водоснабжения и водоотведения, а также на величину связанных с этим затрат труда, материалов и денежных средств.

Конструктивные факторы могут быть разделены на следующие группы:

1. *в зависимости от возможности их количественной оценки:* факторы, которые могут быть измерены количественно и факторы, не поддающиеся количественному измерению - качественные факторы;

2. *в зависимости от результатов влияния на характеристики ремонтпригодности:* факторы, результатом действия которых является преимущественно изменение затрат времени, труда и средств на техническое обслуживание и ремонт.

Факторы, непосредственно влияющие на значения показателей ремонтпригодности:

- рациональная расчлененность конструкции на обособленно изготавливаемые и обслуживаемые конструктивные элементы (блоки, механизмы, сборочные единицы и т.п.);

- доступность конструктивных элементов для обслуживания и ремонта, особенности расположения деталей и сопряжений в сборочных единицах, являющихся объектами систематического контроля, интенсивного обслуживания и ремонта;

- применение рациональных методов контроля технического состояния составных частей

систем водоснабжения и водоотведения и рациональное размещение и оформление контрольных точек;

- рациональное конструктивное оформление, мест сопряжений конструктивных элементов системы водоснабжения и водоотведения (сетей, блоков, сборочных единиц и т. п.);

- наличие в конструкции системы водоснабжения и водоотведения сменных и регулируемых конструктивных элементов в сборочных единицах, подверженных наиболее интенсивному воздействию рабочих нагрузок и внешней среды;

- наличие в конструкциях деталей и сборочных единиц технологических баз, используемых в восстановительных технологических процессах;

- рациональное конструктивное оформление элементов системы водоснабжения, позволяющее применять при ремонте высокопроизводительные и технически совершенные восстановительные технологические процессы.

Конструктивные факторы, преимущественно влияющие на сроки службы элементов, конструкций систем водоснабжения и водоотведения. Эта группа факторов оказывает определенное влияние на значения характеристик ремонтпригодности систем водоснабжения и водоотведения. Такое влияние проявляется посредством изменения интенсивности проведения профилактических и восстановительных мероприятий, осуществляемых с целью поддержания и восстановления работоспособности конструктивных элементов. К конструктивным факторам этой группы относят:

- рациональный выбор материалов, из которых изготавливаются конструктивные элементы систем водоснабжения и водоотведения;

- рациональное распределение нагрузок, действующих на конструктивные элементы при эксплуатации машины;

- рациональная конфигурация деталей и сборочных единиц и их рабочих поверхностей, позволяющая применять при изготовлении и ремонте упрочняющие технологические процессы, значительно повышающие их сроки службы;

- рациональное конструктивное оформление элементов системы водоснабжения и водоотведения, обеспечивающее их защиту от неблагоприятного воздействия внешней среды (здесь имеются в виду такие факторы, как влага и туман, соли, содержащиеся в атмосфере, пыль и песок, биологические факторы и т. п.).

Как следует из рассмотрения факторов конструктивного характера влияющих на ремонтпригодность, большинство из них являются управляемыми. Следовательно, при разработке конструкций систем водоснабжения и водоотведения их можно изменять в желательном направлении и тем самым обеспечивать требуемый уровень характеристик ремонтпригодности систем. Необходимо иметь в виду, что

рациональные конструктивные решения, учитывающие влияние многих факторов, являются лишь потенциальными условиями обеспечения требуемого уровня характеристик ремонтпригодности. Проявляются же эти свойства при строительстве систем водоснабжения и водоотведения, изготовлении машин и агрегатов, а также в процессе их эксплуатации.

Производственно-технологические факторы.

Производственные факторы, как и конструктивные факторы, оказывают преимущественное влияние на длительность и трудоемкость осуществления профилактических и восстановительных работ при эксплуатации сетей и сооружений водоснабжения и водоотведения, на сроки их службы.

Производственно-технологические факторы ремонтпригодности можно рассматривать в виде двух групп: факторы организационно-технического характера и факторы кинологического характера.

К первой группе обычно относят факторы, характеризующие уровень организации труда и производства и оказывающие большое влияние на обеспечение требований ремонтпригодности. Такими факторами, в частности, являются:

- а) состояние организации труда и внедрения современных технологических процессов;
- б) наличие на предприятии современного технологического оборудования и его техническое состояние;
- в) совершенство применяемых методов контроля подготовки продукции и квалификация специалистов ОТК предприятия.

Технологические факторы являются основным инструментом обеспечения требуемых свойств объектов производства, в том числе и свойств ремонтпригодности систем водоснабжения и водоотведения при изготовлении, а в процессе эксплуатации систем при обслуживании и ремонте.

Наиболее существенными факторами технологического характера являются следующие методы:

- Методы достижения точности при изготовлении деталей и сборочных единиц конструкций систем водоснабжения и водоотведения (рассматриваются четыре метода достижения и поддержания точности конструктивных элементов систем):

- 1) метод полной взаимозаменяемости;
- 2) метод неполной взаимозаменяемости, когда часть изготовленных конструктивных элементов не взаимозаменяется;
- 3) метод конструктивной компенсации, когда требуемая точность сопряжения достигается введением в сопряжении компенсаторов: неподвижных (шайб, прокладок), подвижных (винтовых пар, клиньев, эксцентриков);
- 4) метод технологической компенсации, когда для достижения требуемой точности одна или несколько деталей, входящих в него предусматривается соответствующий припуск.

- Применение технологических процессов, обеспечивающих требуемые свойства поверхностного

слоя деталей. Такими технологическими процессами, являются:

- 1) термическая и химико-термическая обработка (закалка, науглероживание, азотирование и т. п.);
- 2) наклеп (вибрационный, обкаткой, дробеструйный);
- 3) нанесение на деталь слоев металла с улучшенными свойствами.

- Применение методов обработки поверхностей деталей и сборочных единиц, обеспечивающих их высокую износостойкость, коррозионную стойкость. В качестве технологических процессов, обеспечивающих такие свойства поверхностей, в частности, находят применение:

- 1) чистовое шлифование;
- 2) хонингование;
- 3) суперфиниш;
- 4) электрополирование;
- 5) полирование абразивами;
- 6) нанесение гальванических покрытий.

- Применение при сварке металлоконструкций систем водоснабжения и водоотведения технологических процессов, режимов, последовательности наложения швов и технологической оснастки, которые обеспечивают минимальные деформации и остаточные напряжения в элементах конструкции.

Эксплуатационные факторы.

Эксплуатационные факторы определяют условия, в которых проявляются свойства конструкций систем водоснабжения и водоотведения, заложенные при ее проектировании и обеспеченные при изготовлении. Для конкретной конструкции и условий ее использования эксплуатационные факторы определяют количественные значения показателей ремонтпригодности. Различие условий эксплуатации, обслуживания и ремонта сетей, оборудования и сооружений, т. е. различие в составе и характере действующих эксплуатационных факторов, является причиной различия значений показателей ремонтпригодности для одной и той же системы водоснабжения и водоотведения.

Эксплуатационные факторы можно разделить на две группы: **организационного** и **технического** характера.

К факторам **организационного** характера относятся следующие факторы:

- принятая система технического обслуживания и ремонта сетей и сооружений водоснабжения и водоотведения;
- организационные формы технического обслуживания и ремонта сетей и сооружений водоснабжения и водоотведения;
- виды, периодичность и содержание профилактических мероприятий при обслуживании и эксплуатации сетей и сооружений водоснабжения и водоотведения;
- механизм обеспечения материалами и запасными частями находящихся в эксплуатации

сетей и сооружений водоснабжения и водоотведения;

- полнота и качество эксплуатационно-технической и ремонтной документации.

К факторам **технического характера** относятся:

- виды и содержание технологических процессов технического обслуживания и ремонта;
- техническая оснащенность работ при техническом обслуживании и ремонте систем водоснабжения и водоотведения.

Виды и количество технологического оборудования, используемого при техническом обслуживании и ремонте систем водоснабжения и водоотведения каждого типа, устанавливаются в соответствии с требованиями в отношении времени и качества технического обслуживания, ремонта и экономической эффективности его применения.

ВЫВОД:

Задача анализа ремонтпригодности состоит в том, чтобы найти резервы времени для сокращения продолжительности ремонтов. В этой связи следует отдельно учитывать активное время (период выполнения работы) и общую продолжительность отключения ремонтируемого участка.

Рассмотренные факторы являются основными методами влияющими на ремонтпригодность систем водоснабжения и водоотведения осуществляемые с целью поддержания и восстановления долговечности и работоспособности в процессе эксплуатации.

Применение методов дисперсионного и регрессионного анализа позволяет не только оценить существенность влияния различных факторов на свойства систем водоснабжения и водоотведения, но и в ряде случаев устанавливает аналитические зависимости между учитываемыми факторами и признаками, характеризующими те или иные свойства систем.

Следует анализировать фактические графики выполнения ремонтов: затрату времени на поиск места повреждения, отключение поврежденного участка, выполнение подготовительных работ, непосредственно на производство работы, наладку после ремонта и пуск в эксплуатацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев, А.В. Применение нечеткой математики в задачах принятия решений [Текст] / А.В. Алексеев // Методы и системы принятия решений / Рыжский политехнический институт.- Рига: РПИ, 1983.- с.38-42.;
2. Салиев, Э. И. Параметры надежности системы водоснабжения и канализации, ремонтпригодность как главное свойство надежности [Текст] / Э.И. Салиев- Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, г. Харьков «Научный вестник строительства» ВАК № 70, стр. 285-297 ;
3. Аленфельд, Г. Введение в

интервальные вычисления [Текст] / Г. Аленфельд, Ю. Херцбергер.- М. : Мир, 1987- 360 с. ;

4. Бердичевский, Б.Е. Оценка надежности аппаратуры автоматики [Текст] / Б.Е. Бердичевский.- М. : Машиностроение, 1966.- 604 с.;

5. Евдокимов, А.Г. Моделирование и оптимизация потокораспределения в инженерных сетях [Текст] / А.Г. Евдокимов, А.Д. Тевяшев. – М.: Стройиздат, 1990.- 368 с. ;

6. Гироль М. М. эффективность систем водоснабжения Украины как фактор национальной безопасности государства [Текст] / М. М. Гироль, М. М. Тироль, Г. М. Семчук чрезвычайная ситуация. - 2001. - № 5 -- С. 10.

7. Салиев, Э.И. Оценка влияния показателей ремонтпригодности систем водоснабжения и водоотведения на их технико- экономические показатели [Текст] / Э.И. Салиев, И.В. Николенко, Э.У. Гаффарова «Научный вестник строительства» (ВАК) - Харьковский национальный университет строительства и архитектуры г. Харьков (сборник №69, стр. 296-302);

8. Евдокимов, А.Г. Оптимальные задачи на инженерных сетях [Текст] / А.Г. Евдокимов.- Харьков: Высшая школа, 1976.- 153 с. ;

9. EnverSaliev, PiijaNikolenko- «The FEASIBILITY REPORT on MAINTAINABILITY of the WATER SUPPLY and SEWERAGE SYSTEM» - Польская академия наук;

10. Эпоян С.М., Штонда И.Ю., Штонда Ю.И., Зубко А.Л. Повышение эффективности очистки сточных вод от соединений азота на малогабаритных канализационных очистных сооружениях.

11. Салиев, Э. И. Влияние ремонтпригодности на надежность систем водоснабжения [Текст] / Э.И. Салиев, И.В. Николенко, Э.У. Гаффарова журнал «Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета», технические науки- г. Симферополь НИЦ КИПУ, 2012 №37-стр. 43-49;

12. Эпоян С.М., Друшляк О.Г., Исакиева О.Г., Айрапетян Т.С., Бруев Н.А. Современные водяные системы пожаротушения.

REFERENCES

1. Alekseev, A.V. Application of fuzzy mathematics in problems of decision-making [Text] / A. V. Alekseev // the Methods and system of decision-making / Rijskiy Polytechnic Institute.- Riga: RPI, 1983.- pp. 38-42.;
2. Saliev, E. I. Parameters of reliability of water supply and Sewerage system, maintainability as the main property of reliability [Text] / E. I. Saliev-Kharkiv national University of construction and architecture, Kharkiv "Scientific Bulletin of construction" VAK No. 70, pp. 285-297 ;
3. Alefeld, G. Introduction to interval computations [Text] / G. Alefeld, J. Herzberger.- М. : Mir, 1987 - 360 p. ;

4. Berdichevsky, B. E. Assessment of reliability of automation equipment [Text] / B. E. Berdichevsky.- Moscow: Mashinostroenie, 1966.- 604 p. ;
5. Evdokimov, A. G. Modeling and optimization of flow distribution in engineering networks [Text] / A. G. Evdokimov, A.D. Tevyashev. - Moscow: Stroizdat, 1990.- 368 p. ;
6. Girol M. M. efficiency of water supply systems of Ukraine as a factor of national security of the state [Text] / M. M. Girol, M. M. Tirol, G. M. Semchuk emergency situation. - 2001. - No. 5 - - P. 10.
7. Saliev, E. I. Assessment of the impact of indicators of maintainability of water supply and sanitation systems on their technical and economic indicators [Text] / E. I. Saliev, I. V. Nikolenko, E. U. gaffarova "Scientific Bulletin of construction" (VAK) - Kharkiv national University of construction and architecture Kharkiv (collection number 69, p. 296-302);
8. Evdokimov, A. G. Optimal problems on engineering networks [Text] / A. G. Evdokimov.- Kharkiv: Higher school, 1976.- 153 p. ;
9. EnverSaliev, IlijaNikolenko- "the FEASIBILITY REPORT on MAINTENANCE of the WATER SUPPLY and DRAINAGE SYSTEM" - Polish Academy of Sciences;
10. Epoyan S. M., Shtonda I. Yu., Shtonda Yu. I., Zubko A. L. Improving the efficiency of wastewater treatment from nitrogen compounds in small-sized sewage treatment plants.
11. Saliev, E. I. Influence of maintainability on reliability of water supply systems [Text] / E. I. Saliev, I. V. Nikolenko, E. U. gaffarova journal "Scientific notes of the Crimean engineering pedagogical University", technical Sciences-Simferopol SIC KIPU, 2012 №37-pp. 43-49;
12. Epoyan S. M., Drushlyak O. G., Isakieva O. G., Hayrapetyan T. S., Bruev N. A. Modern water fire extinguishing systems.

DETERMINATION OF SYSTEM REPAIR

Saliev M.E., Saliev E.I.

Summary: in the article. on the example of water supply and sanitation systems, the factors of constructive, industrial, technological and operational nature that directly or indirectly affect the formation of maintainability properties and the quantitative values of the characteristics used to set and evaluate this property are considered.

Key words: maintainability, design factors, production and technological factors, operational factors.

УДК 628. 356

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА НА КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЯХ ГОРОДА КРАСНОПЕРЕКОПСКА

Эдимова С.Р., Салиев Э.И.

Крымский Федеральный университет имени В. И. Вернадского, Академия Строительства и Архитектуры, г. Симферополь, ул. Киевская, 181, корп. 3,

saliv.en@mail.ru, edimova.safure@mail.ru

Аннотация. Приведены данные по повышению эффективности очистки сточных вод от соединений азота на канализационных очистных сооружениях г. Красноперекоска в Республике Крым. Рассмотрена целесообразность использования новых систем аэрации, изменение подачи сточной воды в аэротенки для увеличения производительности канализационных очистных сооружений и повышения эффективности очистки сточных вод от соединений азота.

Ключевые слова: канализационные очистные сооружения, сточные воды, аэротенк, нитрификация.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности очистки сточных вод от соединений азота на канализационных очистных сооружениях чрезвычайно актуально. Загрязнение природных вод представляет опасность для жизни на Земле, поэтому нельзя допускать сброс неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод в природные водоемы. В настоящее время в Крыму практически все канализационные очистные сооружения не позволяют обеспечить требуемое содержание в очищенной сточной воде соединений азота. Это приводит к загрязнению водных объектов биогенными элементами, что в свою очередь приводит к эвтрофикации водоёмов.

В связи с этим большое значение имеет уменьшение концентрации в очищенных сточных водах соединений азота от объектов водопользования и внедрение новых безотходных технологий на канализационных очистных сооружениях.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В результате аналитического обзора литературы была собрана информация о существующих канализационных очистных сооружениях, а также технические возможности с применением современных технологий [1-3], в процессе исследований проведен ряд расчетов, в которых рассмотрены различные варианты работы секций аэротенков [4-6]. В результате разработанных технических и технологических решений имеется возможность повысить эффективность очистки сточных вод от соединений азота на существующих канализационных очистных сооружениях г. Красноперекоска.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Целью данной работы была научная разработка технических и технологических решений повышения эффективности очистки сточных вод от

соединений азота на канализационных очистных сооружениях г. Красноперекоска.

Существующие канализационные очистные сооружения КРП «ППВКХ г. Красноперекоск» рассчитывались на полную биологическую очистку сточных вод общей производительностью 17500 м³/сут. Вводились в эксплуатацию в период 1973-1976 гг., реконструкция и расширение были произведены частично в 1985 году.

Очистные сооружения включают полный комплекс сооружений необходимый для очистки 17500 м³/сут. сточных вод и обработки образующихся осадков.

На канализационные очистные сооружения поступают хозяйственно-бытовые и производственные сточные воды. В настоящее время, объем поступающих сточных вод составляет 5700 м³/сут. Промышленные предприятия г. Красноперекоска предварительной очистки производственных сточных вод на собственных локальных очистных сооружениях, до нормативов, заложенных в разрешении на сброс сточных вод в систему канализации, не имеют. Хозяйственно-бытовые сточные воды города и сточные воды промышленных предприятий по двум напорным коллекторам поступают в приемную камеру канализационных очистных сооружений, расположенную перед зданием решеток. В приемную камеру также поступают собственные хозяйственно-бытовые сточные воды и дренажные воды с песковых и иловых площадок.

После приемной камеры по лоткам сточные воды поступают в здание решеток, которое оборудовано 2-мя механическими решетками РММВ-1000 с прозорами 16 мм, для задерживания крупных отходов.

Далее сточные воды поступают на вертикальную песколовку диаметром 4 м с круговым движением воды, где удаляются тяжелые минеральные примеси (песок). Расчетная производительность песколовки – 8500 м³/сут.

Песок удаляется из песколовки на песковые площадки за счет гидростатического давления.

Пройдя песколовку, где осели песок и другие грубые механические примеси, сточная вода попадает в два первичных радиальных отстойника диаметром 20 м и 18 м, где происходит осаждение взвешенных веществ, находящиеся в сточных водах, а жиры и другие плавающие органические вещества накапливаются на поверхности и периодически убираются. Осадок в отстойниках накапливается в центре отстойной части и периодически по установленному графику отводится на иловые площадки.

В распределительную чашу первичных отстойников подается избыточный активный ил, который оседая вместе с сырым осадком, удаляется на иловые площадки.

После осаждения сырого осадка и избыточного активного ила, осветленная сточная вода поступает в два 3-х коридорных аэротенка-вытеснителя размером 42 на 18 м и рабочей глубиной 3,85 м.

Сточные воды из верхнего канала поступают в распределительный лоток, смонтированный на перегородочной стене между первым и вторым коридором. Распределительный лоток имеет 8 отверстий для регулирования подачи осветленной сточной воды по всей длине коридора. Отверстия оборудованы щитовыми затворами-водосливами. Первый коридор аэротенка используется как регенератор.

В зависимости от необходимого времени регенерации вместимость регенератора можно изменять путем регулировки количества открытых отверстий распределительного лотка. В табл. 1 указана объемная доля сточных вод (в процентах от общего объема) и номера отверстий, через которые подается вода в зависимости от необходимой вместимости регенератора.

Таблица 1. Объемная доля осветленных сточных вод, подаваемых через шиберы, в% от объема всего стока

Table 1. The volume share of clarified wastewater supplied through the gates, in % of the total flow

Вместимость регенератора, % от общей вместимости аэротенка	Объемная доля осветленных сточных вод, подаваемых через шиберы, в % от объема всего стока							
	1	2	3	4	5	6	7	8
25	10	-	35	-	35	-	20	-
38		10	-	35	-	35	-	20
43			10	-	35	-	35	20
48				10	25	-	35	20
52					10	35	35	20

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗЫ

Учитывая качественный состав поступающих сточных вод на очистные сооружения, наиболее благоприятным является вместимость регенератора, составляющая 25% от вместимости аэротенка.

Воздух, для обеспечения процессов биологической очистки, поступает в сточную воду через аэрационную систему конструкции НПФ “Экотон”, смонтированную у днища и состоящую из трубчатых аэраторов с наружным диаметром 120 мм. Визуально видно, а также подтверждено лабораторией очистных сооружений, что система аэрации находится в удовлетворительном состоянии и успешно выполняет свои функции. Для предотвращения выпадения взвешенных веществ в верхнем и нижнем каналах аэротенка также установлены аэраторы НПФ “Экотон”.

Подача воздуха на аэротенки осуществляется двумя воздуходувками ТВ-80-1.6, которые установлены в воздуходувной станции. Производительность одной воздуходувки по подаче

воздуха составляет 4800 м³/ч, давление воздуха на напорном трубопроводе 0,16 Мпа (1,6 кгс/см²), мощность двигателя каждой воздуходувки составляет 160 кВт.

После аэротенков сточные воды вместе с активным илом по трубопроводу поступают в распределительную чашу вторичных отстойников, и далее во вторичный отстойник диаметром 20 м, где происходит разделение активного ила и очищенных сточных вод.

Активный ил, осевший на дно отстойника, поступает в резервуар активного ила. Из резервуара циркуляционный активный ил насосами возвращается в аэротенк, а избыточный активный ил направляется в распределительную чашу первичных отстойников.

Очищенные сточные воды сбрасываются в акваторию Черного моря.

Сырой осадок в смеси с избыточным активным илом и плавающие вещества из первичного отстойника перекачивается на иловые поля.

Условия качественной характеристики очищенных сточных вод продиктованы требованиями "Правил охраны внутренних морских

вод и территориального моря от загрязнения и замусоривания".

Показатели качества состава сточных вод и требования ПДС приведены в табл. 2.

Таблица 2. Показатели качества воды

Table 2. Water quality indicators

№ п/п	Показатели качества воды	Ед. Изм.	ПДС	2017		2018	
				Вход	Выход	Вход	Выход
1	Взвешенные вещества	мг/л	15	234,8	14	212,8	15
2	БПКполн	мгО2/л	15	126,4	15	210,5	16
3	ХПК	мг/л	80	232,6	70,7	182,25	78
4	Сухой остаток	мг/л	300	3296	2246	3120,9	2878,7
5	Хлориды	мг/л	948,7	911,7	894,1	766,9	730,5
6	Сульфаты	мг/л	600	811,69	650,5	820,4	670,0
7	Азот аммония	мг/л	0,416	34,5	0,54	51,6	15,5
8	Нитраты	мг/л	37,9	2,5	38,0	3,7	до 70
9	Нитриты	мг/л	0,07	0,34	0,1	0,4	до 0,2
10	Фосфаты	мг/л	2,78	40,3	5,4	43,6	10,9
11	Железо	мг/л	0,1	0,47	0,1	0,73	0,25
12	Нефтепродукты	мг/л	0,05	10,33	0,25	2,9	0,5
13	АПАВ	мг/л	0,03	1,13	0,25	0,9	0,3
14	рН	мг/л	6,5-8,5	7,6	7,4	7,8	7,5

Как видно из табл. 2 качество сточных вод, сбрасываемых очистными сооружениями, не соответствует ПДК по следующим показателям: азотосодержащей группы, фосфатов, железа, нефтепродуктов и АПАВов.

В отдельные дни наблюдается в поступающих сточных водах содержание биогенных загрязнений до 80-100 мг/л, что резко ухудшает качество очистки.

При обследовании выявлены следующие недостатки в работе технологии и состоянии сооружений:

- механизированные решетки не работают, отсутствует оборудование для обезвоживания крупных отбросов;
- на первичных радиальных отстойниках наблюдается неравномерный отвод осветленных сточных вод из отстойников;
- технологическая схема работы аэротенков, при существующих объемах поступления сточных вод, приводит к длительному пребыванию смеси активного ила и сточной воды в емкостях, что в свою очередь, влечет повышенный расход электроэнергии и увеличению нитратов в очищенных сточных водах;

-отсутствие обратных клапанов на напорных воздуховодах приводит к ухудшению качества работы аэрационной системы в целом и скорейшему ее износу;

- воздуховоды в воздуходувной станции смонтированы с нарушением правил эксплуатации данных систем, что приводит к снижению КПД воздуходувок;

- существующие воздуходувные агрегаты морально и физически устарели и требуют замены;

- во вторичных отстойниках системы сбора активного ила и отвода осветленных сточных вод работают неэффективно.

Проведенный визуальный анализ активного ила показал следующие результаты: ил светло-коричневого цвет, и характеризуется как средне окисляющий.

Очищенные сточные воды перед сбросом в водоем не обеззараживаются.

Для оптимальной работы КОС г. Красноперекоск, предлагается нижеследующая схема.

Сточные воды подаются по трубопроводу в здание решеток, в которых установлены две механические решетки с прозорами 5 мм. Грубые

отбросы прессуются, а затем транспортируются в мусорный контейнер. Заполненные контейнеры вывозятся к месту складирования.

Далее сточные воды поступают на вертикальную песколовку диаметром 4 м с круговым движением воды, где удаляются тяжелые минеральные примеси (песок). Расчетная производительность песколовки 8500 м³/сут.

Очищенные от тяжелых механических примесей сточные воды из песколовки по водоизмерительному лотку поступают в распределительную чашу. Туда же поступает избыточный активный ил из вторичных отстойников.

Из распределительной чаши сточные воды подаются в нижнюю часть приемно-распределительного устройства первичного отстойника диаметром 20 м, и производительностью 585 м³/ч при 1,5 часовом отстое вод.

Сырой осадок и избыточный активный ил, осевший на дно отстойника, сгребаются илоскребом в иловую чашу, откуда насосом по трубопроводу его перекачивают на иловые поля. Плавающие вещества из отстойника через погружной бункер удаляют в резервуар и затем по мере накопления также перекачивают насосом на иловые поля.

После первичных отстойников сточные воды поступают на биологическую очистку в две секции трехкоридорных аэротенков. При расходе сточных вод 5700-7000 м³/сут. с проектными показателями по БПК и аммонийному азоту целесообразно использовать одну секцию трехкоридорного аэротенка. При поступлении на очистные сооружения сточных вод с повышенными показателями азотосодержащей группы, фосфатов, железа, нефтепродуктов и АПАВ целесообразно использовать двухступенчатую очистку, т.е. работу трехкоридорных аэротенков последовательно.

В процессе исследований проведен ряд расчетов, в которых рассмотрены различные варианты работы секций аэротенков: одной или двух секций, одноступенчатой схемы работы аэротенков или 2-х ступенчатой, при повышенных концентрациях БПК и аммонийного азота, при различном количестве аэраторов и соответственно нагрузке.

Как показали расчеты, установленное в аэротенке количество полимерных аэраторов марки АПКВ-120 полностью не способно обеспечить процессы биологической очистки при максимальных показателях загрязнений по БПК и азоту.

В настоящее время, в двух секциях аэротенков во всех коридорах установлено по две плети аэраторов. Исходя из проведенных расчетов, необходимо установить в аэротенках дополнительные плети аэрационной системы по схеме:

первый аэротенок 3 / 3 / 2

второй аэротенок 3 / 2 / 2

Для обеспечения полной биологической очистки при максимальных показателях биогенных загрязнений, фосфатов в технологической схеме

задействованы обе секции аэротенков. Часть сточных вод (60%) из верхнего канала поступают в распределительный лоток, смонтированный на перегородочной стене между первым и вторым коридором, в конец первого коридора первого аэротенка, который используется как регенератор. Учитывая качественный состав осветленных сточных вод, поступающих на очистные сооружения, наиболее благоприятным является вместимость регенератора, составляющая 25% от вместимости аэротенка.

Пройдя первый аэротенк, сточные воды и активный ил, через переливное окно, в котором установлен плоский щитовой затвор, обладающий повышенной износоустойчивостью и ремонтпригодностью, поступают в конец первого коридора второго аэротенка. Сюда же подаются по лотку и 40% осветленных сточных вод. Во втором и третьем коридорах второго аэротенка сточные воды проходят окончательную биологическую очистку.

Для подачи сжатого воздуха на аэротенки (при максимальных показателях биогенных загрязнений) необходимо установить на воздухопроводах обратные клапана и заменить существующие воздуходувки на две воздуходувки марки 3D90B-300 производства фирмы "KUBICEK" (Чехия), установленные в воздуходувной станции и укомплектованные блоками частотного регулирования и датчиками растворенного кислорода. Это позволит повысить энергоэффективность работы всей системы подачи сжатого воздуха на аэротенки на 25%.

ВЫВОДЫ

Разработанные технические и технологические решения позволяют повысить эффективность очистки сточных вод от соединений азота на существующих канализационных очистных сооружениях г. Красноперекоска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щетинин А.И., Есин М.А., Есин А.М. Повышение эффективности удаления биогенных элементов из городских сточных вод г. Харькова. // Науковий вісник будівництва.-Харків:ХДТУБА, ХОТВ АБУ – 2006.- С.112-115.
2. Эпоян С.М., Друшляк О.Г., Исакиева О.Г., Айрапетян Т.С., Бруев Н.А. Современные водяные системы пожаротушения С.95-98.
3. Сорокина Н.В. Нитриты-денитрификация сточной жидкости в аэробном трехступенчатом биореакторе. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: Одеська державна академія будівництва та архітектури. – 2005.- С.190-193.
4. Эпоян С.М., Штонда Ю.И., Зубко А.Л. Повышение эффективности очистки сточных вод от соединений азота на малогабаритных канализационных очистных сооружениях. //

Науковий вісник будівництва. -Харків : ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 2011.- С.493-498.

5.Саліев Э.И. Напрямки вдосконалення систем водопостачання і водовідведення з метою забезпечення раціонального використання природних ресурсівКриму.//66-а. Науково-технічнаконференція. Харків-2011. С.461-470.

б.Саліев

Э.И.Комплекснаоцінкасистемиводопостачання м. Красноперекопськ АР Крим. ВоднегосподарствоУкраїни. - 2007, № 3.-С.33-38. (ВАК)

7.Ильин Ю.А. Надежность водопроводного оборудования и сооружений. М.: Стройиздат, 1985. -240 с.

8.Павлинова И.И., Баженов В.И., Губий И.Г. Водоснабжение и водоотведение, 2013-472 с. – Серия: Бакалавр. Базовый курс.

9.Березин С.Е., Баженов В.И. “Воздуходувные станции с регулируемыми центробежными компрессорами” “Ариал”2019.

2. Epoyan S.M., Drushlyak O.G., Isakieva O.G., Hayrapetyan T. S., Bruev N. A. Modern water fire extinguishing systems pp. 95-98.

3. Sorokina N. V. Nitrites - denitrification of wastewater in an aerobic three-stage bioreactor. // Bulletin of the Odessa state Academy of construction and architecture. - Odessa: Odessa state Academy of construction and architecture. -2005. - pp. 190-193.

4.Epoyan S.M., ShtondaYu.I., Zubko A.L. Improving the efficiency of wastewater treatment from nitrogen compounds in small-sized sewage treatment plants. // Naukovij Visnik budivnitstva.-Harkiv : KSTUCA.- 2011.- pp. 493-498.

5. Saliev E.I. directions of improvement of water supply and sanitation systems in order to ensure the rational use of natural resources of the Crimea.// 66th Scientific and technical conference. Kharkiv-2011. pp. 461-470.

6. Saliev E.I. complex assessment of water supply system in Krasnoperekopsk, Crimea. Water economy of Ukraine. - 2007, No. 3. - pp. 33-38.

7.Ilyin Y.A. Reliability of water supply equipment and facilities. Moscow: Stroizdat, 1985. -240 s.

8.Pavlinov, I.I., Bazhenov V.I., I.G. Gobi Water supply and sanitation, 2013-472 p. – Series: the Bachelor. Basic course.

9.Berezin S.E., Bazhenov V. I. "Blower stations with adjustable centrifugal compressors ""Arial" 2019.

REFERENCES

1. Shchetinin A.I., Esin M.A., Esin, A.M. improving the efficiency of nutrient removal from municipal wastewater of the city of Kharkov. // Naukovij Visnik budivnitstva.-Harkiv:KSTUCA – 2006.- pp. 112-115.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF WASTEWATER TREATMENT FROM NITROGEN COMPOUNDS AT SEWAGE FACILITIES IN KRASNOPEREKOPSK

Edimova S. R., Saliev E. I.

Summary The data on improving the efficiency of wastewater treatment from nitrogen compounds at sewage treatment plants in Krasnoperekopsk in the Republic of Crimea are presented. The expediency of using new aeration systems, changing the supply of wastewater to aeration tanks to increase the productivity of sewage treatment plants and improve the efficiency of wastewater treatment from nitrogen compounds is considered.

Key words: sewage treatment plants, wastewater, aerotank, nitrification.

УДК 628.1

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ И КАЧЕСТВО, КАК ОСНОВНОЕ СВОЙСТВО ГАРАНТИРОВАННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСЛУГ.

Салиев Э.И., Клинецов А.Н.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского».
Адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181

Аннотация. Освещены основные аспекты качества, показатели качества, методы обеспечения, планирования, контроля, улучшения и руководство качеством в системе водоснабжения и водоотведения. Приведена система менеджмента качества оказания услуг.

Ключевые слова: система водоснабжения и водоотведения, качество, показатели, техническое состояние, продукция, услуга.

ВВЕДЕНИЕ

Система водоснабжения в современном обществе является важным элементом жизнеобеспечения и социальной стабильности.

Питьевая вода - необходимый элемент жизнеобеспечения населения, и от ее качества зависит состояние здоровья людей, уровень их санитарно-эпидемиологического благополучия, степень комфортности и, следовательно, социальная стабильность общества. В то же время проблема обеспечения населения питьевой водой нормативного качества с каждым годом все более усугубляется. Сегодня она становится одной из главных социально-экономических проблем в осуществлении государственной стратегии устойчивого развития общества.

Уровень надежности и качества водоснабжения – это проблема, влияющая не только на качество жизни населения, но и сдерживающая экономическое развитие региона.

Современные системы водоснабжения представляют собой сложные инженерные сооружения, обеспечивающие подачу воды потребителям, а также отвод и очистку сточных вод.

Правильное решение инженерных задач водоснабжения и водоотведения в значительной степени определяет высокий уровень благоустройства населенных мест, а также благоустройство жилых, общественных и промышленных зданий.

Главным направлением технической политики в области энергетической эффективности систем водоснабжения и водоотведения является повышение ее качества, эффективности функционирования, рентабельности путем совершенствования методов проектирования, технологии строительства сооружений, а также повышения надежности ее работы.

Одной из наиболее острых проблем функционирования систем водоснабжения и водоотведения Крыма в настоящее время является

ее неудовлетворительное техническое состояние, вызванное значительным износом основных фондов, а также чрезмерное и неэффективное использование материальных и энергетических ресурсов.

Проблемы тесно взаимосвязаны и оказывают негативное влияние, как на работу, так и на технико-экономическую эффективность всей подотрасли жилищно-коммунального хозяйства.

Согласно информации Министерства жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), по состоянию на 2018 год, каждая пятая насосная станция Крыма выработала свой нормативный срок амортизации, четвертая часть водопроводных очистных сооружений требует восстановления или модернизации. Более 30% коммунальных водопроводных и канализационных сетей находятся в аварийном состоянии. Энергетическая составляющая в себестоимости питьевой воды в отдельных регионах превышает 50%, а потери воды при ее транспортировании и распределении составляют до 60%, при этом непродуктивные потери электроэнергии составляют не менее 25%.

Учитывая эти острые проблемы отрасли, необходимо выполнение условий по повышению качества оказания услуг системы водоснабжения и водоотведения. В первую очередь это можно обеспечить за счет применения современных подходов к качеству технических объектов.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Согласно основополагающего международного стандарта *ISO 9000 -2000* **качество** – это степень, до которой совокупность собственных характеристик объекта удовлетворяет потребности. Данное определение относится ко всем известным видам услуг и продукции, а также к системам и процессам. То есть качество услуги определяется через ее свойства удовлетворять установленным рынком

потребностям, которые необходимо постоянно выявлять, определять и удовлетворять.

Качество – комплексный показатель, который оценивается при совместном рассмотрении технических, эксплуатационных, конструкторско-технологических и экономических показателей любой технической системы.

Выделяют четыре основных аспекта качества.

1. **Потребительское** качество определяется в результате исследования рынка, опроса конкретных потребителей, иногда может предопределяться производителем продукции или услуги. Во многом также зависит от платежеспособности потребителей.

2. **Конструктивное** качество, которое обусловлено проектированием. С одной стороны, определяется потребителем качеством, а с другой стороны зависит от методологии проектирования, учета возможностей производства строительно-монтажных работ, принятого качества оборудования, комплектующих изделий, материалов и др.

3. Качество **производителя (изготовителя)**, обусловленное соответствием системы, полученной при строительстве, монтаже, в производстве комплектующих агрегатов, качеству, заложенному при проектировании. Этот аспект обеспечивается надлежащим контролем, организацией производства, квалификацией специалистов, состоянием оборудования, построением технологического процесса, др.

4. **Эксплуатационное** качество, которое обуславливается условиями эксплуатации, техническим обслуживанием и ремонтом. Этот аспект определяется тремя вышеуказанными аспектами, ремонтпригодностью элементов, а также надежностью, безотказностью оборудования при эксплуатации, др. факторами.

С учетом всех аспектов, качество технической системы – это конечный результат деятельности, для обозначения пригодности использования в соответствии с назначением. Таким образом, качество технической системы закладывается при проектировании, обеспечивается при изготовлении, а реализуется в эксплуатации.

Цена продукции и услуги в стандартах *ISO-9000*, как один из аспектов качества, не рассматривается, хотя является дополнительным аспектом, который отражает соответствие запросов рынка потребителю качеству, а также качеству проектирования, изготовления и эксплуатации.

Факторы, влияющие на качество услуги, либо продукции:

- финансовые ресурсы предприятия создают возможность обеспечить качество за счет комплексного исследования потребности рынка продукции либо услуг, высококачественного проектирования, применения современных технологий производства, приобретения необходимого оборудования, материалов, комплектующих изделий и т.д.

- организация производства обеспечивает производство продукции и услуг необходимого качества, себестоимости в запланированные сроки;

- компетентность инженерного и производственного персонала их уровень зарплаты должны обеспечивать и стимулировать запланированный уровень качества;

- рынки сбыта, так как качество продукции, либо услуги должно удовлетворять определенный рынок, а цена должна отвечать предлагаемому качеству;

- техническое состояние систем, его элементов, оборудования, качество эксплуатации, технического обслуживания, ремонта, а также качество поставок комплектующих материалов и т.д.;

- способы обработки информации должны своевременно доводить информацию об аспектах качества для принятия оперативных решений;

- желание постоянного повышения требований к качеству.

Качество, с одной стороны, является сложным многогранным понятием, так как зависит от множества факторов, а от правильного его выбора зависит успех деятельности предприятия по удовлетворению потребности рынка. Поэтому внедрение системы управления качеством следует считать стратегическим решением организации. На разработку и внедрение системы управления качеством в организации любой формы собственности влияют изменение потребностей, конкретные цели, вид продукции либо услуги, которую поставляют, применяемые процессы, а также размер и структура организации. В связи с важностью системы водоснабжения и водоотведения в современном обществе назрела реальная необходимость измерения и управления качеством с учетом всех его аспектов с целью гарантированного обеспечения услуг жизнеобеспечения.

Для управления качеством, его значением, необходимы объективные способы его измерения. Показатель качества услуги либо продукции – количественная оценка одного или нескольких их свойств, входящих в качество. Рассматриваются показатели качества применительно к определенным условиям проектирования, создания, эксплуатации. В зависимости от вида услуги показатель качества может быть один, несколько, а для сложных технических систем – большое количество.

Показатели качества могут выражаться в физических величинах, в баллах, условных единицах, а могут быть безразмерными. Различают единичные и комплексные показатели качества. Единичные показатели качества – характеризуют только одно свойство технического объекта, а комплексные характеризует несколько его свойств или одно сложное. Например, безразмерный коэффициент готовности системы:

$$K_e = \frac{T_o}{T_o + T_e} \quad (1)$$

где T_o - наработка системы на отказ (показатель *безотказности*); T_e - время восстановления системы (показатель *ремонтпригодности*).

Физический смысл коэффициента готовности состоит в отображении степени готовности системы к выполнению работы по назначению.

Средневзвешенный показатель качества определяется по зависимости

$$K_o = \sum_{i=1}^n k_i \alpha_i; \quad (2)$$

где k_i - единичный показатель качества i -го свойства; α_i - коэффициент весомости i -го свойства, который устанавливает рейтинг данного показателя качества по отношению к другим.

Физическим смыслом средневзвешенного показателя качества является величина, выражается в условных единицах, которая отображает уровень качества в соответствии с выбранными коэффициентами весомости.

Деление на простые и комплексные показатели является условным, т. к. один и тот же показатель может быть и простым и комплексным. Например, показатель ремонтпригодности – это среднее время восстановления отказа T_b по отношению к свойству надежности - готовности является простым. Но сам показатель среднего времени восстановления отказа T_b является комплексным так как:

$$T_b = T_o + T_y, \quad (3)$$

где T_o - время отыскания отказа, T_y - время его устранения, т.е. T_b - по отношению к T_o и T_y тоже комплексный показатель.

Определяющий показатель качества - показатель качества, по которому принимают решение о качестве технического объекта или системы. Он тоже может быть простым или комплексным. Пользоваться комплексным показателем качества необходимо осторожно. Иногда, если хотя бы один простой показатель качества равен нулю, продукция бракуется. Определяющий показатель качества для одних и тех же изделий может быть разным в зависимости от конкретных условий: требований рынка или потребителя. Для некоторых условий наиболее важными показателями являются показатели надежности, для других условий наиболее важными являются показатели назначения, а для иных потребителей важны все показатели качества и т. д.

Интегральный показатель качества определяется как отношение полезного эффекта от

эксплуатации или потребления технического объекта или системы к суммарным затратам на ее создание и эксплуатацию или потребление.

$$I = \frac{\mathcal{E}}{Z_c + Z_3}, \quad (4)$$

где I - интегральный показатель качества; \mathcal{E} - эффект от эксплуатации, например, годовая пропускная способность трубопровода водоснабжения и водоотведения в тысячах кубических метрах, пробег автомобиля в тонно-километрах или наработка станка в часах до капитального ремонта; Z_c - затраты на проектирование, изготовление, монтаж; Z_3 - затраты на эксплуатацию, включают техническое обслуживание, ремонты, др.

Наряду с интегральным показателем качества может применяться обратная ему величина, называемая удельными затратами на единицу эффекта.

В связи с многогранностью понятия качества, различными видами его показателей методы определения показателей качества классифицируются следующим образом.

По методам определения значений показателей качества они разделяются на две группы: **по способам** и **по источникам** получения информации.

В зависимости от способа получения информации методы определения значений показателей качества делятся на: **измерительный, регистрационный, органолептический, расчетный.**

В зависимости от источника информации методы определения значений показателей качества делятся на: **традиционный, экспертный, социологический.**

В стандарте *ISO 9000* приводятся основные понятия, определения для элементов обеспечения систем качества, среди которых:

- обеспечение качества;
- управление качеством;
- улучшение качества;
- система менеджмента качества.

Рассмотрим эти понятия более подробно.

Обеспечение качества подаваемой воды потребителям является частью общего руководства качеством, направленное на обеспечение уверенности в том, что требования к качеству воды будут выполнены. Следует отметить, что существуют **внешний** и **внутренний** аспекты обеспечения качества в системе водоснабжения и водоотведения. **Внутренний** аспект обеспечения качества дает уверенность руководству предприятия в том, что требования потребителей оно способно выполнить и выполняет. **Внешний** аспект обеспечения качества дает уверенность потребителю в том, что его требования к услуге или

продукции системы водоснабжения и водоотведения выполняются, и будут выполняться.

Обеспечить уверенность в качестве предоставляемой услуги может только тщательное планирование процессов и их надежный контроль, который периодически приводит к заключению, что процессы должны быть обновлены, модернизированы и т. п.

Обеспечение качества в системе водоснабжения и водоотведения имеет предупреждающий характер, направлено на плановое управление видами деятельности на всех этапах. Для этого на предприятии должен быть сформулирован и доведен до исполнителей комплект стандартных требований, выполнение которых обязательно, чтобы гарантировать обеспечение качества услуги.

Планирование качества.

1. Плановое улучшение качества водоснабжения и водоотведения обеспечивается на основе плановых заданий.

2. Задачей планирования качества продукции и обслуживания является повышение уровня

водоснабжения и водоотведения, рациональное использование основных производственных фондов, материальных, топливно-энергетических, трудовых и финансовых ресурсов, обеспечение охраны, окружающей среды и экономии природных ресурсов, отсутствие жалоб со стороны потребителей.

3. Планирование осуществляется на основе изучения показателей качества производственно-эксплуатационной деятельности предприятий коммунального водоснабжения и водоотведения, достигнутых за предыдущий год, и анализа состояния работы по повышению качества.

Обеспечение качества

1. Для обеспечения высокого качества оказываемых услуг по водоснабжению и водоотведению необходимо выполнение комплекса мероприятий: организационных, технических, профессиональной подготовки, социально-экономических, профессиональной подготовки, социально-экономических и санитарно-гигиенических (рис. 1).

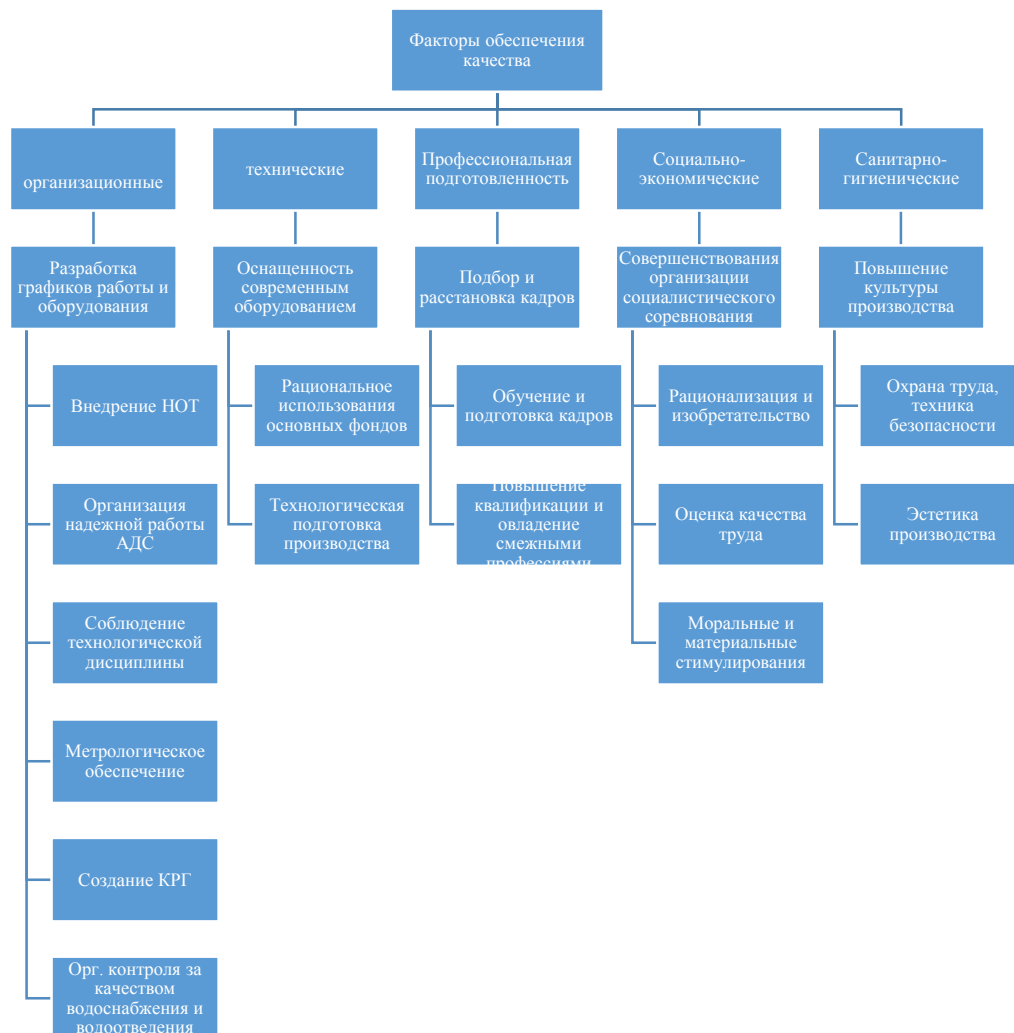


Рис. 1.

Fig. 1.

Организационные мероприятия включают в себя: разработку надежных графиков работы основного оборудования и его ремонта для каждого подразделения (службы) предприятия, обеспечивающих надежное, качественное и бесперебойное водоснабжение и водоотведение; своевременное и качественное материально-техническое снабжение; внедрение научной организации труда; надежную работу аварийно-диспетчерской службы; соблюдение технологической дисциплины; организацию метрологического обеспечения; создание координационно-рабочей группы (КРГ); организацию контроля за качеством водоснабжения и водоотведения на всех стадиях производства (эксплуатации) и обслуживания потребителей.

2. Технические мероприятия призваны обеспечить: оснащенность предприятий коммунального водоснабжения и водоотведения современным оборудованием; полное и наиболее рациональное использование имеющихся основных фондов; технологическую подготовку производства.

3. Мероприятия по профессиональной подготовленности включают набор и расстановку кадров в соответствии с потребностью и квалифицированными требованиями предприятия; обучение и подготовку кадров; повышение квалификации и овладение смежными профессиями и т.д.

4. К социально-экономическим мероприятиям относятся: рационализация и изобретательство; разработка положения о моральном и материальном стимулировании качества; выбор критериев, определяющих работу исполнителей.

5. Санитарно-гигиенические мероприятия сводятся: к обеспечению соответствующего высокопроизводительного психологического микроклимата; повышению культуры производства; охраны труда и техники безопасности; эстетики производства.

6. Функциями комплексной системы управления качеством продукции (услуг) КС УКП(У), обеспечивающими высокое качество водоснабжения и водоотведения, являются:

обеспечение всех структурных подразделений предприятия нормативно-технической документацией;

метрологическое обеспечение предприятия;

разработка и внедрение стандартов;

внедрение мероприятий по обеспечению надежного и бесперебойного обслуживания потребителей.

7. За обеспеченность предприятия нормативно-технической документацией и за разработку и внедрение стандартов отвечает руководитель предприятия.

8. Высокое качество водоснабжения и водоотведения достигается при осуществлении комплекса мероприятий, направленных на организацию работы каждого подразделения

предприятия строго в соответствии с государственными и отраслевыми стандартами и стандартами предприятия.

Контроль качества.

1. Основными задачами контроля являются: установление соответствия качества водоснабжения и водоотведения требованиям стандартов и другой нормативно-технической документации;

обеспечение очистки сточных вод, отвечающей требованиям "Правил охраны поверхностных вод от загрязнений сточными водами";

установление качества ремонтных работ;

изучение обоснованных жалоб потребителей;

организация учета, анализа и информации о качестве.

2. Контролируется качество продукции, качество обслуживания и труда. Контроль проводится на всех этапах и стадиях добычи, производства и реализации питьевой воды потребителям в предприятиях коммунального водоснабжения, приема, отвода и переработки сточных вод с целью их последующего использования для нужд народного хозяйства или выпуска в водоемы предприятиями коммунального водоотведения.

Управление качеством является частью общего руководства качеством, направленная на выполнение требований к качеству, т.е. управление качеством включает в себя методы и деятельность, направленные на ведение мониторинга процессов и устранение причин их неудовлетворительного функционирования на всех этапах жизненного цикла технической системы. Если измеряемые показатели не соответствуют требованиям, проводятся корректирующие действия для устранения причин.

Улучшение качества – часть общего руководства качеством, направленная на увеличение удовлетворенности заказчика и других заинтересованных сторон в производимой продукции или услуге. Улучшение качества обеспечивается путем:

- определения возможных путей улучшения на основе анализа и оценки систем;

- установления целей улучшения;

- поиска возможных решений для достижения целей;

- оценки решений и обоснования выбора одного из них;

- внедрения выбранного решения;

- измерения, проверки, анализа и оценки результатов, степени достижения цели;

- оформления изменений.

Следует отметить, что улучшение качества может осуществляться с одной стороны методом постоянных, пусть очень небольших, но каждодневных изменений, а с другой стороны улучшение качества может выполняться дискретно за счет внедрения инноваций: освоение и внедрение

новых видов оборудования, перспективных технологий, организационные преобразования и т. п.

Система менеджмента качества оказания услуг является новым элементом в системе качества согласно стандарту *ISO 9000-2000* определяется как координированная деятельность по руководству и управлению организацией в отношении качества.

Данное определение указывает на то, что система менеджмента качества оказания услуг является частью системы управления предприятием, один из его аспектов, направленный на достижение результатов относительно целей в сфере качества и на удовлетворение потребностей, ожиданий и требований заинтересованных сторон. Ядром менеджмента качества является системный подход ко всем видам деятельности, которые влияют на качество продукции, услуги.

ВЫВОДЫ

Для повышения качества оказания услуг жилищно-коммунального хозяйства в области водоснабжения и водоотведения необходимо применение современных подходов к качеству технических объектов с учетом их основных аспектов и факторов. Современная методология систем качества по обеспечению надежного, бесперебойного оказания услуг основывается на четырех принципах: обеспечение качества продукции, услуги, управление качеством в системе водоснабжения и водоотведения, улучшение качества и менеджмент оказания услуг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильин Ю. А. Математическая постановка задач определения производительности систем транспортировки воды. - В кн.: Тематический сборник секции АН СССР. Энергетика и транспорт. - М., 1979. - с. 30-76.
2. Ильин Ю. А. Надежность водопроводного оборудования и сооружений. М.: Стройиздат, 1985. -240 с.
3. Ильин Ю. А. Расчет надежности подачи воды. - М.: Стройиздат, - 320 с.
4. Ильин Ю. А. Вопросы надежности магистральных трубопроводов. - Изд. АН СССР. Энергетика и транспорт, - 1976. - с. 122-124.
5. Ильин Ю. А. Показатели надежности трубопроводов водопроводной сети. В кн.: "Вопросы надежности систем водоснабжения". Сб. трудов 170, МИСИ, 1978. - с. 61-69. -171
6. Ильин Ю. А. Математическая модель оценки эффективности фильтровальных станций с учетом показателей надежности их оборудования. - В кн.: "Межвузовский сборник трудов ЛИСИ". - Л.: 1980. - с. 68-71.
7. Ильин Ю. А. Выбор схем транспортировки воды с учетом категории надежности ее подачи. - В кн.: "Межвузовский сборник трудов ЛИСИ". - Л.: 1981. - с. 34-36.

8. Ильин Ю. А. Оптимальные пределы резервирования насосного оборудования. Водоснабжение и санитарная техника, 1979, №11, - с. 4-6.

9. Хоружий П. Д. Интенсификация работы систем подачи и распределения воды. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. - ЛИСИ: 1988.

10. Макогонов В. Исследование надежности водопроводных сетей. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидат технических наук. – МИСИ: 1972. -20 с. -175

11. Кикачейшвили Г. Е. Методология оптимизации СПРВ. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидат технических наук. - Тбилиси: 1986.

12. Салиев Э.И. Механизмы реализации государственной политики в сфере водоснабжения в Автономные Республики Крым. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата наук государственного управления. – Киев: 2008

13. Храменков В., Примни О. Г. Оценка надежности трубопроводов системы водоснабжения Москвы. Водоснабжение и санитарная техника, 1998, № 7. - с. 2.

14. Гнеденко Б.В., Коваленко И.П. Введение в теорию массового обслуживания. - М. Наука, 1966 г., - 431 с.

15. Багнюк В. Питьевая вода: какой она должна быть (В. Багнюк) Чрезвычайная ситуация. - 2007. - № 5. - С.34-37

16. Бажал Ю. М. Экономическая оценка государственных приоритетов технологического развития (Ю. Бажал, И. Одотюк, В.П.Александрова и др. НАН Украины Ин-т эконом. прогнозирования. - М., 2002. - 320с.

17. Гальчинский А.С. Стратегия экономического и социального развития Украины (2004-2015 годы) "Путем европейской интеграции» (А. Гальчинский, В. М. Геец, С. Бабенко) ; Офиц. Изд. - М.: ИВЦ Госкомстата Украины, 2004.- 416с.

18. Гироль М. М. Эффективность систем водоснабжения Украины как фактор национальной безопасности государства (М. М. Тироль, Г. М. Семчук) Чрезвычайная ситуация. - 2001. -№ 5. - С.10.

19. Научный вестник строительства № 63. Министерство образования и науки Украины. Академия строительства Украины. Харьков ХДТУБА ХОТВ АБУ 2011

REFERENCES

1. Pyin Yu. a. Mathematical formulation of the task determine the performance water transportation systems. - In the book.: Thematic collection of the USSR Academy of Sciences section. Energy and transport. - М., 1979. - p. 30-76.
2. Pyin Y. A. Reliability of water supply equipment and facilities. М.: Stroyizdat, 1985. -240 s.

3. Ilyin Y. A. Calculation of reliability of water supply. - M.: stroizdat, - 320 p.
4. Ilyin Yu. A. questions of reliability of main pipelines. Ed. AN USSR. Energy and transport, - 1976. pp. 122-124.
5. Ilyin Yu. A. indicators of reliability of pipelines of a water supply network. In the book.: "Issues of reliability of water supply systems". Proceedings 170, MISI, 1978. - S. 61-69. -171
6. Ilyin Yu. a. Mathematical model for evaluating the effectiveness of filter media stations, taking into account the reliability of their equipment. - In the book.: "The interuniversity collection of proceedings of the LISI". - L.: 1980. pp. 68-71.
7. Ilyin Yu. a. Selection of water transportation schemes taking into account the category of its reliability supplies. - In the book.: "The Intercollegiate collected works of LISI". - L.: 1981. pp. 34-36.
8. Ilyin Yu. a. Optimal limits of reservation of pumping equipment. - Water supply and sanitary engineering, 1979, No. 11, pp. 4-6.
9. Horuzhiy P. D. Intensification of water supply and distribution systems. Abstract of the dissertation for the degree of doctor of technical Sciences sciences'. - LISI: 1988.
10. Makogonov V. Study of reliability of water supply networks. Autoabstract the dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical Sciences. - MISI: 1972. -20 p. -175
11. Kikacheishvili G. E. Methodology for optimization of the paging system. Abstract of the thesis for the degree of candidate of technical Sciences. - Tbilisi: 1986.
12. Saliev E. I. Mechanisms of implementation of the state policy in the sphere of water supply in the Autonomous Republic of Crimea. The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of science in public administration. - Kyiv: 2008
13. Khramenkov V., Primni O. G. Assessment of reliability of pipelines of water supply system of Moscow. Water supply and sanitary engineering, 1998, No. 7. - C. 2.
14. Gnedenko B. V., Kovalenko I. P. Introduction to the theory of Queuing. - M. Nauka, 1966, - 431 p.
15. Bagnyuk V. Drinking water: what it should be (V. Bagnyuk) Emergency situation. - 2007. - No. 5. - Pp. 34-37
16. Bazhal Yu. m. Economic assessment of state priorities of technological development (Yu. Bazhal, I. Odotyuk, V. p. Alexandrova and others. NAS of Ukraine Institute of Economics. predictions. - M., 2002. - 320p.
17. Galchinsky A. S. Strategy of economic and social development of Ukraine (2004-2015) "By European integration" (A. galchinsky, V. M. gets, S. Babenko).; Official. Ed. - M.: IVC state statistics Committee of Ukraine, 2004.- 416p.
18. Girol M. M. Efficiency of water supply systems of Ukraine as a factor of national security of the state (M. M. Tirol, G. M. Semchuk) Emergency situation. - 2001. - No. 5. - p. 10.
19. Scientific Bulletin of construction No. 63. Ministry of education and science of Ukraine. Academy of construction of Ukraine. Kharkov HDTUBE HOT ABU 2011

ANALYSIS OF THE STATE OF THE WATER SUPPLY SYSTEM AND DRAINAGE AND QUALITY AS THE MAIN PROPERTY GUARANTEED PROVISION OF SERVICES.

Saliev E. I., Klintsov A. N.

Summary. This article concerns the main aspects of quality, the quality indexes, the methods of providing, planning, control and quality improvement in water and sewage system. Quality Management system in services rendered is presented too.

Key words: water supply and sanitation system, quality, indicators, technical condition, products, services.

УДК 331.4:339.13.027.3

ПУЛЬСАЦИЯ ОСВЕЩЕННОСТИ КАК НЕГАТИВНЫЙ ФАКТОР СВЕТОВОЙ СРЕДЫ

Менумеров Р.М.

ГБОУ ВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет им. Февзи Якубова»
г. Симферополь, пер. Учебный 8
menumerov@list.ru

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы влияния качественных показателей источников искусственного освещения (пульсации, эффекта мерцания) на здоровье и продуктивность труда работников, связанных с напряжением зрительного анализатора. Приведены сведения о негативном влиянии фактора пульсации не только на органы зрения, но и другие функциональные системы организма (ЦНС, сердечнососудистую систему, циркадные ритмы). Показано, что существующие нормативные требования к качеству световой среды производственных помещений недостаточно отражают актуальность и значимость этого показателя освещения для обеспечения благоприятной производственной среды и рационального трудового процесса. Приведены результаты исследования светотехнических параметров источников света (в том числе коэффициента пульсации) широко используемых на практике. Выявлены значительные различия этого показателя в зависимости от типа источников и технологии их изготовления (компании-производителя). Предложены рекомендации по минимизации последствий вредного и опасного влияния пульсации светового потока источников путем входного контроля ее величины сравнительно простыми лабораторными методами.

Предмет исследования - светотехнические параметры электрических источников света, пульсация светового потока источников света – как наименее изученный фактор световой среды производственных помещений.

Материалы и методы: При проведении исследований проанализирована существующая научная информация о влиянии пульсации освещенности на здоровье и работоспособность работников. Разработан лабораторный стенд для оценки качества источников света на базе серийного лабораторного оборудования ОУОРМ-С-Р. При анализе результатов исследований использованы методы статистической выборки изделий, обработки результатов измерений и обобщения (дедукции) экспериментальных результатов.

Результаты: Проведена оценка влияния показателей качества освещения на здоровье и работоспособность работников, экспериментально исследованы светотехнические характеристики (в том числе коэффициент пульсации) ламп широко используемых на практике. Показана возможность эффективного контроля пульсации источников до их использования в целях освещения производственных помещений.

Выводы: Для обеспечения высокой работоспособности и сохранения здоровья работников необходимо учитывать наряду с количественными показателями источников света, качественные характеристики, среди которых наименее изученным и оказывающим значимое влияние на нарушение физиологических процессов организма является пульсация освещенности рабочих поверхностей.

Контроль величины пульсации источников света должна являться важной санитарно-гигиенической задачей на предприятии, решение которой позволяет выбирать и проектировать рациональное и эффективное освещение производственных и офисных помещений.

Существующие в настоящее время средства измерений и методическая база для проведения замеров указанных параметров источников позволяют эффективно решать вопросы контроля качества ламп, не полагаясь на их «маркетинговые» характеристики.

Ключевые слова: Световой поток, пульсация светового потока, освещенность рабочих поверхностей, коэффициент пульсации освещенности, частота пульсации, безопасность.

ВВЕДЕНИЕ

Световая среда производственных и офисных помещений является одним из факторов, оказывающим значительное воздействие на здоровье работников, безопасность и продуктивность их труда. Правильно спроектированное и рационально выполненное освещение на 10-15% повышает производительность труда и уменьшает количество травм и аварий на предприятии. При этом эффективность освещения определяется как количественными, так и качественными показателями. Количественные показатели являются очевидными и поддаются точным измерениям, качественные показатели не ощущаются явственно и оцениваются, как правило, по субъективным критериям, либо не имеют надежного приборно-методического обеспечения. При этом наименее изученным показателем

световой среды, как показывают исследования [1], является пульсация светового потока источников света (эффект мерцания, изменения уровня освещенности рабочих мест во времени). В связи с этим возникает необходимость выявить роль качественных параметров в обеспечении комфортной световой среды помещений и разработать экспериментально-методическую базу для их эффективной оценки и контроля.

Целью статьи являлось оценка влияние качественных показателей электрических источников формирующих световую среду помещений, на здоровье и работоспособность персонала. Разработка мероприятий и технических решений по минимизации неблагоприятного влияния указанных факторов на жизнедеятельность человека.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В работах [2, 6] показано, что видимые глазом пульсации освещенности вызывают прямое зрительное раздражение, доставляют визуальный дискомфорт, утомляют зрение, оказывают дополнительную нагрузку на нервную систему и другие функциональные системы организма. При этом колебания светового потока частотой до 25-30 Гц наблюдаемые визуально обусловлены, как правило, помехами в осветительной сети, неисправностями электронных пускорегулирующих устройств (сетевых адаптеров, драйверов), наличием устройств регулировки яркости (диммеров) и другими обстоятельствами не связанными непосредственно с природой источников света. Указанные дефекты осветительной установки позволяют, вследствие своей очевидности, принимать оперативные меры реагирования и устраняются, как правило, усилиями самого потребителя (с помощью мер технического и организационного характера).

Значительно большую опасность, как показывает многолетний опыт использования электрических источников света, представляют неощущаемые визуально пульсации светового потока частотой от 25-30 Гц до 300 Гц, которые обусловлены, главным образом, питанием их промышленным переменным током [2,5]. Данные пульсации светового потока детектируются зрительными рецепторами глаза (фоторецепторами - клетками сетчатки глаза чувствительными к свету), однако не обрабатываются как визуальная информация и воздействуют напрямую на другие отделы головного мозга не связанные с восприятием изображений. Как показано исследованиями [1,6], длительное воздействие указанных факторов может привести к хроническим заболеваниям не только органов зрения, но и других органов непосредственно с ними не связанных [2,4].

Исследования [3,7] показали, что органы зрения (фоторецепторы, зрительные нервы) и мозг человека продолжают воспринимать и реагировать на изменения светового потока поступающего в глаз вплоть до частоты 300 Гц. При этом такие изменения зрительной информации не воспринимаются на сознательном уровне, поскольку по волокнам зрительного нерва волна возбуждения доходит до зрительного центра коры головного мозга за конечное время (со скоростью порядка 100 м/с [4]. Субъективным результатом такого не визуального воздействия пульсации искусственного освещения является необъяснимое чувство дискомфорта, усталости или недомогания, в условиях, когда количественные показатели освещения (яркость, освещенность, цветовая температура, индекс цветопередачи и другие) находятся в допустимых пределах.

Следует отметить, что указанное воздействие света на подсознательном уровне на организм человека, заметно более глубокое, чем визуальное и

требует более детального исследования. Как показали авторы [4] такое не визуальное (подсознательное) воздействие света приводит к расстройству биологических ритмов человека, которые, в свою очередь, могут вызвать функциональные расстройства и развитие ряда заболеваний (депрессии, бессонница, патологии сердечнососудистой системы). Как показано в исследованиях [5,7] при воздействии пульсирующего света на зрительный анализатор на электроэнцефалограмме головного мозга появляются навязанные пики активности с частотой пульсации освещенности. Причем эти навязанные ритмы активно подавляют естественные биоритмы нервной системы организма.

Другим неблагоприятным явлением обусловленным пульсацией света является стробоскопический эффект - оптическая иллюзия искажающая скорость и направление вращающихся тел (например, элементов машин и оборудования). Такой обман зрения опасен и создает риски травмирования работников и ошибочных действий персонала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В гигиенической практике для измерения и оценки уровня пульсации светового потока источников необходимо использовать средства измерения включенных в Государственный реестр средств измерений приборами с определенными характеристиками погрешности, с использованием методик, аттестованных по метрологическим характеристикам. К измерениям, относящиеся к сфере госрегулирования относятся, в том числе, измерения показателей световой среды производственных помещений, обеспечивающих безопасные условия и охрану труда [5,6].

Однако, в настоящее время отсутствуют нормативные документы и аттестованные методики позволяющие технически грамотно и достоверно оценить (измерить) величину коэффициента пульсации источников света и использовать их для обоснования принимаемых технических (инженерных) решений.

В работе процесс экспериментальных исследований был организован на базе научной лаборатории кафедры охраны труда, при этом использовался (с соответствующей доработкой) серийно выпускаемый стенд типа ОУОРМ-С-Р. Светотехнические характеристики источников света измерялись с использованием аттестованных методик и средств измерений (Методические указания «Оценка освещения рабочих мест» МУ 2.2.4.706-981/ МУ ОТ РМ 01-98, пульсметр-люксметр модели ТКА-ПКМ, фотометрический цилиндр – для оценки светового потока ламп). Использовались методы экспериментальных исследований параметров ламп, анализа полученных результатов и обобщения полученных сведений для решения комплекса задач связанных с

формированием качественной световой среды производственных и офисных помещений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Необходимо отметить, что при проведении обязательного для всех организаций мероприятия, специальной оценки условий труда (СОУТ), по результатам которого устанавливаются классы условий труда на рабочих местах, не предусмотрена идентификация и измерение показателей качества освещения, в том числе коэффициента пульсации освещенности [7]. Считаем необходимым отметить, что СОУТ в настоящее время это единственный механизм подтверждения обоснованности установления всех без исключений гарантий и компенсаций работникам, занятых на

работах с вредными и/или опасными условиями труда.

В связи с приведенными данными становится очевидным необходимость оценки (измерений) величины пульсации применяемых источников света. Нами разработано устройство (стенд) для оперативной оценки качества осветительных ламп бытового и производственного назначения. Стенд создан на базе комплекта лабораторного оборудования ОУОРМ-С-Р. Проведены исследования основных светотехнических характеристик (коэффициента пульсации K_m , потребляемой мощности P , светового потока Φ , световой отдачи S) широкого круга источников используемых в настоящее время для целей освещения производственных и бытовых помещений. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты исследования светотехнических параметров источников света

Table 1. The results of the study of lighting parameters of light sources

№	Тип лампы, марка, производитель	K_m , %	P , Вт	Φ , лм	S , лм/Вт
1	Лампа накаливания НГ-48	12,5	99	698	7,1
2	Филаментная светодиодная лампа, smartbuy	0	3,3	228,8	69,1
3	Люминесцентная лампа (эконом), DeLux	9	8,7	308	35,3
4	Лампа накаливания PHILLIPS	14,7	63,3	708,4	11,2
5	Люминесцентная лампа ЛБ-40	57	43	2928	68,1
6	Лампа накаливания, BELLIGHT	11,7	100,8	1258,8	12,5
7	Светодиодная энергосберегающая лампа, smartbuy	5	6,63	529,4	79,9
8	Люминесцентная лампа (эконом) ЭРА	6,4	13,1	792	60,4
9	Светодиодная лампа LEEK	0	10,6	949	89,6

Представленные данные позволили установить, что в общем случае, коэффициент пульсации ламп снижается в ряду: лампы накаливания, люминесцентные лампы и светодиодные источники. Однако, величина пульсации зависит не только от природы источника, но и модели, торговой марки лампы (соответственно - компании изготовителя), что связано, по-видимому, качеством сборки и монтажа вспомогательного электронного оборудования источника (сетового адаптера, драйвера). Кроме того, наблюдалось, в некоторых случаях значительное различие между реальными (измеренными) параметрами ламп и заявленной их производителями (в том числе и по коэффициенту пульсации).

ВЫВОДЫ

Для обеспечения высокой работоспособности и сохранения здоровья работников в процессе зрительной работы необходимо учитывать наряду с количественными показателями источников света, качественные характеристики, среди которых наименее изученным и оказывающим значимое влияние на нарушение физиологических процессов организма является пульсация освещенности рабочих поверхностей.

Контроль величины пульсации источников света является важной санитарно-гигиенической задачей на предприятии, решение которой позволяет

выбирать и проектировать рациональное и эффективное освещение производственных и офисных помещений. При этом необходимо обращать внимание не на «брендовые» или маркетинговые характеристики ламп, а проверенные в лабораторных условиях. Существующие в настоящее время средства измерений и методическая база для проведения указанных замеров достаточно хорошо представлены производителями и разработчиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корнеева М.А. Сравнительный анализ фотометрических характеристик бытовых источников света / М.А. Корнеева, И.Е. Норман // Вестник Российского университета дружбы народов. 2015. № 7. С. 12 - 19.
2. Ильянов Е.И. Почему не принимаются меры для снижения пульсации освещенности / Е.И. Ильянов // Светотехника. 2009. № 4. С. 23 - 29.
3. Епанешников М.М. Электрическое освещение / М.М. Епанешников, М.В. Соколов. СПб: Энергоиздат, 2008. 226 с.
4. Харитонов В.С. Результаты исследования особенностей применения светодиодного освещения / В.С. Харитонов, Г.А. Решетников // Вестник молодежной науки. 2016. № 4. С. 23 - 30.
5. Ошурков И.В. Обоснованный подход к нормативам пульсаций светодиодного освещения / И.В. Ошурков, М.Н. Товаров // Современная электроника. № 4. 2012. С. 12 - 19.
6. Ильянов В.А. Качество световой среды как фактор сохранения зрительного здоровья / В.А. Ильянов, В.Г. Самсонов // Светотехника. 2011. № 3. С. 11 - 17.
7. Луизов А.В. Физика зрения / А.В. Луизов, А.В. Свинцов. М.: Энергоиздат, 2012. 164 с.

REFERENCES

1. Korneeva M.A. Comparative analysis of photometric characteristics of household light sources / M.A. Korneeva, I.E. Norman // Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. 2015. N. 7. pp. 12 - 19. (In Russian)
2. Ilyina E.I. Why measures are not taken to reduce the pulsation of illumination / E.I. Ilyina // Lighting Engineering. 2009. N. 4. pp. 23 - 29. (In Russian)
3. Epaneshnikov M.M. Electric lighting / M.M. Epaneshnikov, M.V. Sokolov. St. Petersburg: Energoizdat, 2008. 226 p. (In Russian)
4. Kharitonov V.S. The results of the study of the features of the use of LED lighting / V.S. Kharitonov, G.A. Reshetnikov // Bulletin of youth science. 2016. N. 4. pp. 23 - 30.
5. Oshurkov I.V. A justified approach to the standards of pulsations of LED lighting / I.V. Oshurkov, M.N. Goods // Modern Electronics. N. 4. 2012. - pp. 12 - 19. (In Russian)
6. Ilyanok V.A. The quality of the light environment as a factor in maintaining visual health / V.A. Ilyanok, V.G. Samsonov // Lighting Engineering. 2011. N. 3. pp. 11 - 17. (In Russian)
7. Luizov A.V. Physics of Vision / A.V. Luizov, A.V. Lead free. M.: Energoizdat, 2012. 164 p. (In Russian)

PULSATION OF LIGHTING AS A NEGATIVE LIGHT ENVIRONMENT FACTOR

Menumerov R.M.

Abstract. The paper considers the impact of quality indicators of artificial lighting sources (pulsation, flicker effect) on the health and productivity of workers associated with the voltage of the visual analyzer. Information is given about the negative influence of the pulsation factor not only on the organs of vision, but also on other functional systems of the body (central nervous system, cardiovascular system, circadian rhythms). It is shown that the existing regulatory requirements for the quality of the lighting environment of industrial premises do not adequately reflect the relevance and significance of this indicator of lighting to ensure a favorable production environment and a rational labor process. The results of a study of the lighting parameters of light sources (including the ripple coefficient) are widely used in practice. Significant differences of this indicator were revealed depending on the type of sources and the technology of their manufacture (manufacturing company). Recommendations are proposed on minimizing the consequences of the harmful and dangerous effects of pulsations of the light flux of sources by means of input control of its magnitude by comparatively simple laboratory methods.

Subject: Lighting parameters of electrical light sources, pulsation of the light flux of light sources.

Materials and methods: When conducting research, existing scientific information on the effect of pulsation of illumination on the health and performance of workers was analyzed. A laboratory bench was developed for assessing the quality of light sources on the basis of laboratory equipment. When analyzing the research results, methods of statistical sampling of products, processing of measurement results and generalization (deduction) of experimental results were used.

Results: The impact of lighting quality indicators on the health and performance of workers was evaluated, lighting characteristics (including ripple coefficient) of lamps widely used in practice were experimentally studied.

Conclusions. To ensure high working capacity and preserve the health of workers, it is necessary to take into account, along with quantitative indicators of light sources, qualitative characteristics, among which the least studied and having a significant effect on the violation of the physiological processes of the body is the pulsation of illumination of the working surfaces.

Monitoring the amount of pulsation of light sources should be an important sanitary and hygienic task at the enterprise, the solution of which allows you to choose and design rational and effective lighting for production and office premises.

The currently existing measuring instruments and methodological basis for measuring the indicated parameters of the sources make it possible to efficiently solve the issues of lamp quality control, without relying on their "marketing" characteristics.

Key words: Luminous flux, pulsation of the luminous flux, illumination of working surfaces, ripple coefficient of illumination, pulsation frequency, safety.

Раздел 4. Экологическая безопасность

УДК 912

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ОПАСНЫХ ВЕТРОВ НА ПОБЕРЕЖЬЕ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Холопцев А.В., Подпорин С.А., Курочкин Л.Е.

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, г. Севастополь, улица Университетская 33, e-mail: kholoptsev@mail.ru, SAPodporin@sevsu.ru, l.kurochkin.mj@mail.ru

² Севастопольское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова», 299011, г. Севастополь, улица Советская, 61, e-mail: kholoptsev@mail.ru

Аннотация. За период с 1.01.1979 по 31.12.2018 гг. оценены средние характеристики и тенденции изменения повторяемости ветров, представляющих угрозу для жизнедеятельности населения, целостности зданий и безопасности судоходства на различных участках побережья Крымского полуострова. При этом учтены ветры различных румбов, способные приводить к гибели людей, а также вызывать повреждения зданий и сооружений. Среднесуточные скорости таких ветров превышают 10 м/с и 15 м/с (в порывах до 25 м/с и 40 м/с).

Предмет исследования: современные тенденции изменений повторяемости ветров тех или иных румбов со значениями модуля среднесуточной скорости, представляющими опасность для населения, городской застройки и судоходства, которые наблюдаются в определенные месяцы на различных участках побережий Крымского полуострова.

Материалы и методы: Как фактический материал о среднесуточных значениях характеристик ветра на побережьях Крымского полуострова использованы результаты реанализа ERA-Interim, для проверки адекватности которых применены данные фактических измерений характеристик ветра на метеостанциях Росгидромета, расположенных на территории Крыма. Оценена средняя частота и суммарная продолжительность действия сильных ветров тех или иных румбов в различные месяцы, которые являются количественными характеристиками их повторяемости, а также вычислены параметры ее линейного тренда.

Результаты: Выявлены участки побережий Крымского полуострова, на которых в современном периоде увеличивается повторяемость ветров, представляющих угрозу для местного населения, зданий, сооружений и морских судов.

Выводы: Полученные результаты целесообразно учитывать при проектировании объектов строительства для различных участков побережий Крымского полуострова.

Ключевые слова: побережье Крымского полуострова, опасные ветры, повторяемость, реанализ, перемены климата.

ВВЕДЕНИЕ

Сильные ветра, относятся к числу гидрометеорологических явлений, создающих наибольшие риски для населения, а также при эксплуатации судов, зданий и сооружений в любых регионах мира. Следуя рекомендации Всемирной Метеорологической организации, характеристики этих процессов, которые учитываются при проектировании подобных объектов, принято оценивать за период, продолжительность которого составляет 30 лет. В современном периоде такие оценки являются адекватными не всюду, поскольку вследствие происходящих перемен климата наблюдается трансформация общей циркуляции земной атмосферы, и в одних регионах их повторяемость увеличивается, а в других уменьшается. Поэтому оценка соответствующих

этому периоду характеристик повторяемости таких ветров в различных регионах мира, а также современных тенденций их изменения, является актуальной проблемой не только метеорологии, но также эксплуатации водного транспорта, строительства и архитектуры.

Наибольший интерес решение данной проблемы представляет для территорий и акваторий, обладающих значительным рекреационным потенциалом, где в будущем вероятно развитие тинфраструктуры туризма, которое предполагает расширение масштабов осуществляемого на них строительства. В России к их числу относятся многие участки морских побережий Крымского полуострова, с прилегающими акваториями.

К сильным ветрам на побережьях Крыма принято относить такие, при которых среднесуточное значение модуля их скорости

превышает 10м/с, поскольку в сутки, когда они наблюдаются, значения скоростей ветра в порывах здесь способны превышать 25м/с – уровень, при котором вероятны ощутимые повреждения многих ветхих и некоторых современных зданий зданий. Уязвимость любых объектов существенно зависит от направления таких ветров.

Основными характеристиками их повторяемости являются средняя частота их возникновения за рассматриваемый период времени (СЧ). В качестве меры тенденции изменений повторяемости рассматриваемых ветров принято рассматривать значение углового коэффициента линейного тренда временного ряда их суммарной продолжительности в том или ином месяце (УКСП).

На некоторых участках побережий Крымского полуострова наблюдения за изменениями скорости ветра осуществляют расположенные на них метеостанции Росгидромета. Тем не менее, такие наблюдения ведутся не повсеместно. Не проводятся они и на прибрежных морских акваториях, поскольку работающие на них суда, как правило, обладают ограниченной мореходностью и в периоды действия сильных ветров находятся в укрытиях. В результате этого для многих участков побережий Крыма и прилегающих к ним акваторий оценка значений указанных характеристик ранее не производилась.

Информация о рассматриваемых показателях ветрового режима на таких участках может быть получена с использованием результатов математического моделирования, которые представлены в тех или иных реанализах. Тем не менее и такой подход для оценки повторяемости сильных ветров в рассматриваемом регионе ранее применялся. Следовательно, оценка с помощью такого моделирования современных значений рассматриваемых характеристик повторяемости ветров тех или иных различных румбов, а также тенденций их изменения для различных пунктов побережья Крымского полуострова и прилегающих к ним морских акваторий, представляет существенный теоретический и практический интерес.

Целью данной работы является оценка, по результатам реанализов изменчивости скорости ветра, современных значений СЧ и УКСП ветров тех или иных румбов на различных участках побережья Крымского полуострова и в прилегающих к ним районах Черного и Азовского моря. Для достижения указанной цели решены следующие задачи:

1. Оценка для различных пунктов Азово-Черноморского региона и Крыма значений СЧ для ветров различных румбов, значения модуля среднесуточной скорости которых превышают 10м/с.
2. Оценка значений УКСП для таких ветров, которые соответствуют различным месяцам.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Учитывая выбранную цель, информацию об изменениях рассматриваемых показателей можно получить из таких источников, как реанализы, где представлены результаты математического моделирования поля скорости ветра над Азово-Черноморским регионом.

Современные представления о подходах к математическому моделированию изменчивости поля скорости ветра изложены в [1]. Из них следует, что при решении этих задач применимы некоторые численные трехмерные гидродинамические модели, позволяющие осуществить реанализ (восстановить предысторию) изменений скорости ветра в узлах той или иной координатной сетки, которые осреднены на некоторых отрезках времени (сутки, час и т.д.).

Наиболее точным среди таких реанализов является ASR (Arctic Sistem Reanalysis)[2], в котором представлены данные о скоростях ветра над земной поверхностью во всех пунктах изучаемого и многих других регионов, расположенных в узлах координатной сетки с шагом 13х13км. При этом как источник фактического материала, изучаемого в данной работе, он применен быть не может, поскольку указанная в нем информация охватывает лишь период 2002-2012 гг..

Значительно больше продолжительность периода, для которого результаты математического моделирования скорости ветра представлены в реанализе ERA-Interim[3, 4]. Указанный реанализ является глобальным и содержит данные о среднесуточных значениях изучаемой характеристики за период с 1.01.1979 по 31.12.2018гг.. Вместе с тем его недостатком является повышенное расстояние между узлами координатной сетки, для которых в нем приведены такие данные (0,7 угловых градусов).

Самым совершенным источником информации о характеристиках ветра над Азово-Черноморским регионом является реанализ SKIRON[5]. Упомянутый реанализ поддерживается метеоцентром SKIRON (Греция, <http://forecast.uoa.gr>), который использует модель Eta [6]. Именно его данные, как правило, применяются при математическом моделировании сгонно-нагонных процессов и ветрового волнения на побережьях Черного и Азовского морей [7-10].

При оценке рассматриваемых характеристик повторяемости сильных ветров над побережьями Крыма и прибрежными акваториями упомянутых морей результаты указанных реанализов ранее не применялись. Для получения подобных оценок использовались иные подходы [11], не обеспечивающие такого же пространственного разрешения и точности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для достижения выбранной цели как источник фактического материала выбран реанализ ERA-Interim, результаты которого представлены в [12]. Изменения ветрового режима на побережьях Крымского полуострова и прилегающих к нему акваториях Черного и Азовского морей, связаны с его изменениями во всем Азово-Черноморском регионе. Поэтому рассматривались изменения СЧ и УКСП для всех пунктов земной поверхности (и суши, и моря), расположенных в пределах области, ограниченной параллелями 41-49°N и меридианами 28-41°E, для которых осуществлен реанализ ERA-Interim.

При оценке достоверности подобного фактического материала применялись результаты реанализов ASR и SKIRON, а также режимные данные о фактических изменениях скорости ветра в пунктах побережий Крымского полуострова, где расположены метеостанции, функционировавшие в период 1979-2018 гг.. Упомянутые результаты фактических измерений получены из архива Севастопольского отделения ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова».

Результаты реанализа ERA-Interim о меридиональных и широтных проекциях среднесуточных скоростей ветра интерполировались в пункты, где располагались упомянутые метеостанции. Эти же результаты интерполировались в пункты побережий, либо прибрежных акваторий, для которых имеются данные реанализов ASR и SKIRON. При этом применялся метод интерполяции оптимальный по критерию минимум среднеквадратической ошибки [13].

Полученные результаты сопоставлялись между собой, а также с данными о меридиональных и широтных проекциях среднесуточных скоростей ветра на каждой метеостанции, которые получены по результатам фактических измерений. При сопоставлении применялся метод корреляционного анализа и критерий Стьюдента [14]. Установлено, что достоверность статистических выводов о значимости связей между результатами реанализа ERA-Interim и данными, с которыми они сопоставлялись при тестировании, минимальна для метеостанции Ялта, тем не менее, и здесь ее значение превышает 95%. Для прочих метеостанций достоверность этих выводов больше.

Достоверность статистических выводов о значимости связей результатов рассматриваемых реанализов для всех пунктов побережий Крыма и прибрежных акваторий также превышает 95%. Вследствие этого фактический материал, применяемый в данной работе признан адекватным.

Как известно, наиболее сильные ветры в Азово-Черноморском регионе возникают в периоды прохождения над ним циклонов[15]. При этих явлениях они наблюдаются в передних секторах

циклонов и действуют с южных румбов (от ЮЗ до ЮВ). Другой причиной возникновения в регионе сильных ветров являются вторжения Арктического воздуха[16]. При этих процессах ветры направлены с северных румбов (от СЗ до СВ). Могут они возникать также при иных процессах, действующих с западных и восточных румбов.

Поэтому при вычислении значений СЧ для каждого месяца учитывались отдельно сильные ветры северных румбов, южных румбов, а также любых румбов.

Значение СЧ для таких ветров вычислялось как отношение количества суток, в которые модуль их среднесуточной скорости превышал некоторый уровень (наименьший уровень- 10м/с), к общему количеству суток в период 1.01.1979-31.12.2018 (14610). Фактически, данный показатель характеризует среднюю за этот период годовую повторяемость рассматриваемых ветров.

Значени УКСП определялось по методу наименьших квадратов [17].

Полученные результаты отображались на контурной карте Азово-Черноморского региона с использованием метода триангуляции Делоне[18].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

С использованием упомянутого фактического материала и описанной методики, для всех пунктов Азово-Черноморского региона, для которых в реанализе ERA-Interim представлены данные, определены все сутки, для которых среднесуточные значения модуля скорости ветра превышают уровень 10м/с, а также более высокие уровни (до 25м/с). Учитывая направления вектора среднесуточной скорости ветра, среди выявленных суток определены те, в которые он относился к южным и северным румбам. Полученные данные для каждого пункта использованы при оценке соответствующих ему значений СЧ, а также СП и УКСП для каждого месяца.

Установлено, что общее количество суток в которые среднесуточные значения модуля скорости ветра превышают тот или иной уровень, быстро снижается по мере его повышения. Поэтому полученные результаты рассмотрим на примере значений этого уровня 10м/с и 15м/с.

На рисунке 1 представлены распределения в пределах Азово-Черноморского региона значений СЧ произошедших в 1979-2018гг. событий, при которых среднесуточное значение модуля скорости ветра тех или иных румбов (южных, северных или любых) превышал уровень 10 м/с.

Из рисунка 1А видно, что сильные ветры южных румбов с указанными среднесуточными значениями модуля их скорости, встречаются над многими участками поверхности Азово-Черноморского региона, в том числе территории Крыма.

Значения СЧ таких ветров превышают уровень 0,0015 на большинстве участков акваторий Западной части Черного моря, северо-восточных районов его Восточной части, Азовского моря, а

также на всех морских побережьях Крыма, кроме участка побережья Каркинитского залива, расположенного к востоку от п. Черноморское и северо-восточной части Арабатской стрелки, где таких ветров в рассматриваемый период вовсе не наблюдалось.

Рисунок 1Б показывает, что сильные ветры северных румбов в рассматриваемом регионе возникают значительно чаще. Их СЧ наиболее

велика в центральной части акватории Западной части Черного моря (0,03-0,05). В Крыму повышенные значения СЧ (0,01-0,03) соответствуют многим участкам побережий его Южного берега, Гераклейского и Керченского полуострова. Не зафиксировано таких ветров на тех же указанных выше участках побережий, где не наблюдалось ветров и южных румбов.

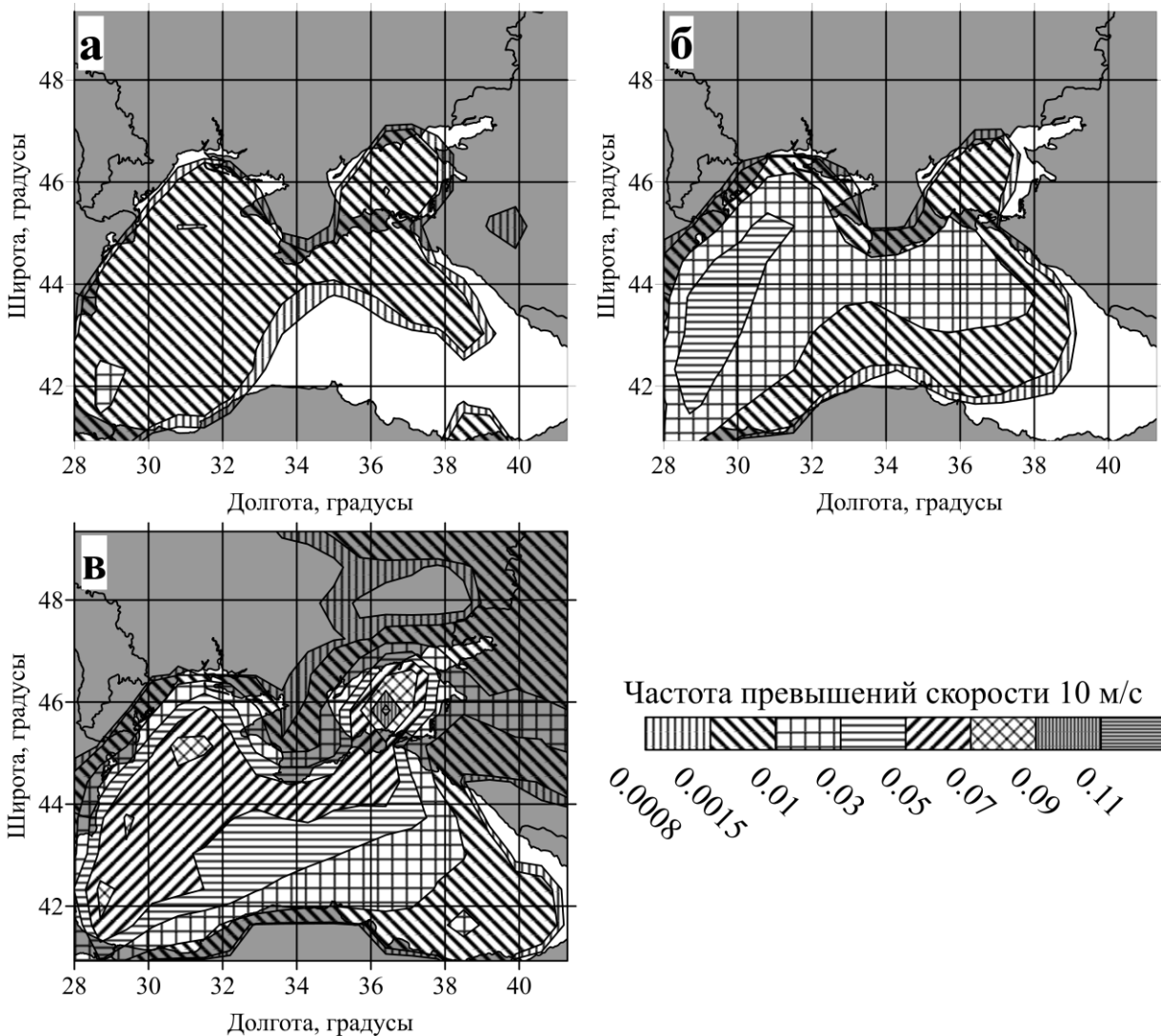


Рис. 1. Распределения в пределах Азово-Черноморского региона значений СЧ ветров, среднесуточное значение модуля скорости которых в 1979-2018 гг. превышало уровень 10 м/с: а) южные румбы; б) северные румбы; в) любые румбы

Fig. 1. Distributions of mean frequency of winds with mean speed values in excess of 10 m / s over the Azov – Black Sea region in 1979–2018 period: а) southerly winds; б) northerly winds; в) winds of any direction

Из рисунка 1В следует, что на побережьях Крымского полуострова в современном периоде существенный вклад в СЧ сильных ветров вносят ветры и других румбов (восточных и западных). Из этого следует, что закономерности ветрового режима побережий и прибрежных акваторий Крыма, характерные для второй половины XX века,

которые описаны в [19, 20], в современном периоде сохранились.

На рисунке 2 отображены распределения в пределах Азово-Черноморского региона значений СЧ возникновения в 1979-2018 гг. ветров тех или иных румбов, для которых среднесуточное значение модуля их скорости превышает 15 м/с.

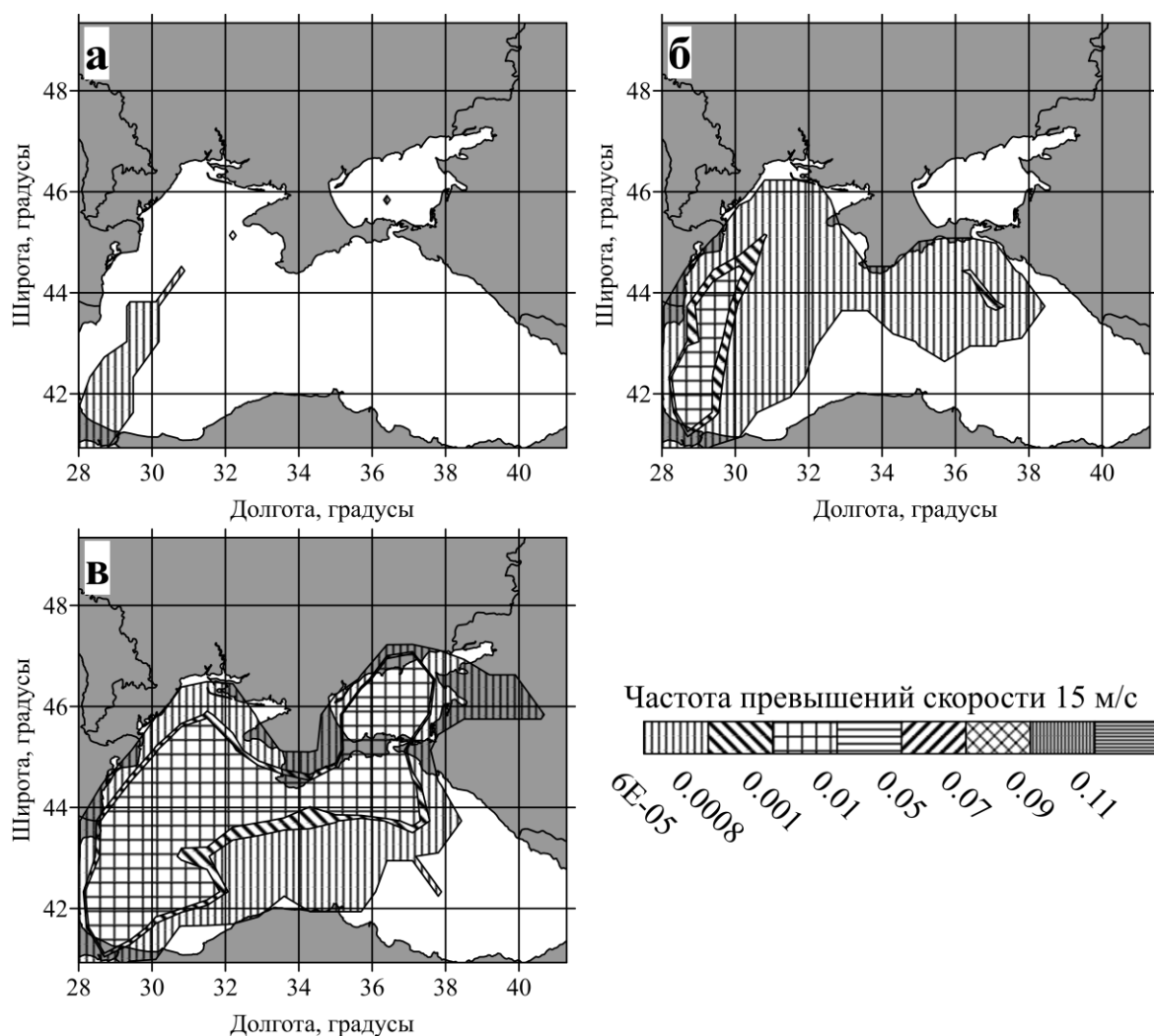


Рис. 2. Распределения в пределах Азово-Черноморского региона значений СЧ ветров, среднесуточное значение модуля скорости которых в 1979-2018 гг. превышало уровень 15 м/с:
а) южные румбы; б) северные румбы; в) любые румбы

Fig. 2. Distributions of mean frequency of winds with mean speed values in excess of 15 m / s over the Azov – Black Sea region in 1979–2018 period:
а) southerly winds; б) northerly winds; в) winds of any direction

Как видно из рисунка 2А, рассматриваемые сильные ветры южных румбов с указанными среднесуточными значениями модуля их скорости, встречаются лишь над центральными и южными районами Западной части Черного моря. На побережьях Крыма таких ветров не выявлено. Анализ архивных данных свидетельствует о том, что при циклонах, ветры, среднечасовые скорости которых превышают 15м/с здесь возникают часто, однако их направления в течение суток изменяются, вследствие чего среднесуточные значения модуля их скорости рассматриваемого уровня достигают не всегда.

Рисунок 2Б свидетельствует о том, что сильные ветры северных румбов, для которых среднесуточные значения модуля их скорости превышают 15м/с, в Азово-Черноморском регионе наблюдались в Западной части Черного моря, а также северо-восточных районах его Восточной части. Зафиксированы они также на всем Южном

берегу Крыма и на побережьях полуострова Тарханкут.

Наибольшие значения СЧ таких ветров (от 0,001 до 0,01) соответствуют западным и южным районам Западной части Черного моря. Для побережий Крыма их СЧ не превышает 0,0008.

Как показано в [19], во второй половине XX века сильные ветры над Азовор-Черноморским регионом преобладали в зимние месяцы. Поэтому результаты решения второй задачи целесообразно рассмотреть путем сопоставления данных, которые соответствуют ветрам северных и южных румбов, а также месяцам январь и июль.

На рисунке 3 показано распределение в пределах Азово-Черноморского региона значений УКСП ветров северных и южных румбов для января и июля, среднесуточное значение модуля скорости которых в 1979-2018гг. превышало уровень 10 м/с.

Из рисунка 3А следует, что на многих участках акватории региона и территории Крымского полуострова в указанные годы преобладали

тенденции к уменьшению повторяемости в январе сильных ветров южных румбов. Данный эффект проявлялся наиболее ощутимо на участках черноморского побережья Крыма, расположенных

между п. Саки и мысом Меганом, где скорость снижения повторяемости изучаемых ветров составляла от $-0,1$ до $-0,05$ сут/год.

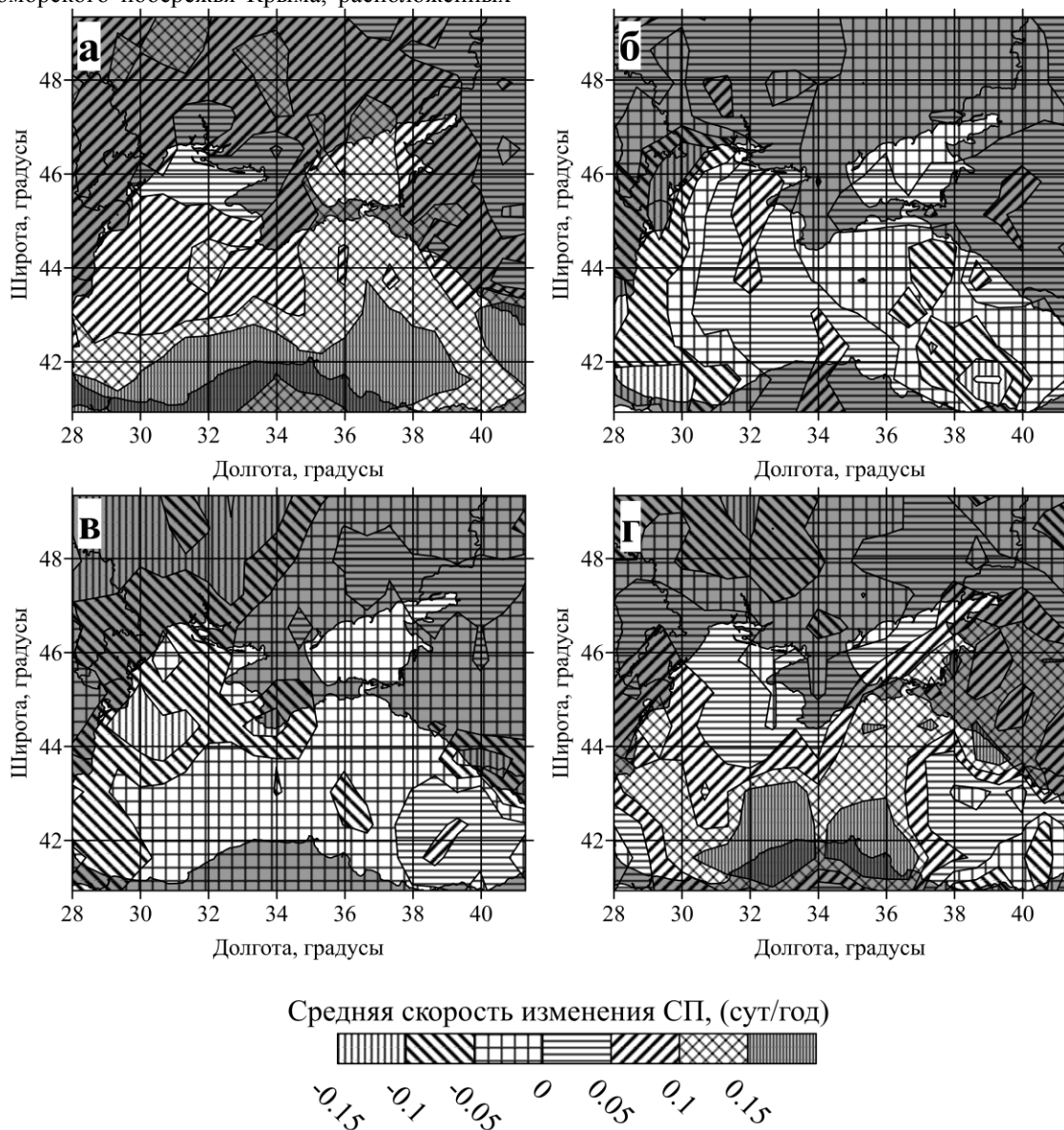


Рис. 3. Распределение в пределах Азово-Черноморского региона значений УКСП ветров северных и южных румбов для января и июля, среднесуточное значение модуля скорости которых в 1979–2018 гг. превышало уровень 10 м/с.

а) январь, южные румбы; б) январь, северные румбы; в) июль, южные румбы; г) июль, северные румбы

Fig. 3. Distributions of total duration of angular coefficient linear trends of northerly and southerly winds with mean speed values in excess of 10 m / s over the Azov – Black Sea region in 1979–2018 period for January and July:

а) January, southerly winds; б) January, northerly winds; в) July, southerly winds; г) July, northerly winds

Из рисунка 3Б следует, что повторяемость на большинстве участков побережий Крымского полуострова ветров северных румбов в январе за рассматриваемый период практически не изменилась. Исключением является лишь район мыса Тарханкут, где значения данной характеристики увеличились.

Рисунок 3В показывает, что повторяемость ветров южных румбов в июле на всех участках побережий Крымского полуострова в 1979–2018 гг. снижалась. Наиболее быстро уменьшались ее значения на участке от мыса Херсонес до мыса

Плака (УКСП лежали в пределах от $-0,15$ до $-0,1$ сут/год). На прочих участках побережья, расположенных между п. Саки и м. Меганом, УКСП составляли от $-0,1$ до $-0,05$ сут/год.

Рисунок 3Г свидетельствует о том, что повторяемость ветров северных румбов на большинстве участков побережий Крыма в 1979–2018гг. несколько увеличилась. При этом на участках черноморских побережий восточного Крыма между мысом Меганом и п. Опасное повторяемость сильных северных ветров в июле за указанный период возрастала наиболее быстрыми

темпами, что осложняло функционирование Керченской паромной переправы и создавало проблемы для судоходства в Керченском проливе.

Так как изменения повторяемости сильных ветров в Азово-Черноморском регионе являются следствиями трансформации общей циркуляции земной атмосферы, которая обусловлена происходящими переменами климата, представляется вероятным, что в ближайшие годы выявленные их тенденции сохранятся. В результате этого повторяемость сильных ветров южных румбов на рассматриваемых территориях и акваториях будет снижаться, в то время как для ветров северных румбов она будет возрастать (наиболее ощутимо на побережьях Восточного Крыма, в том числе в Керченском проливе). Следовательно, строительство Крымского моста завершено весьма своевременно.

ВЫВОДЫ

Таким образом, установлено:

1. В период с 1979 по 2018 гг. значения средней повторяемости сильных ветров северных румбов на побережьях Крымского полуострова и прилегающих к ним морских акваториях были больше, чем таких же ветров южных румбов. При этом наиболее значимое влияние на изменения повторяемости рассматриваемых процессов с любых направлений оказывали ветры с восточных и западных румбов.

2. В изменениях повторяемости на таких территориях и акваториях сильных ветров южных румбов в современном периоде в любые месяцы проявляются тенденции к ее уменьшению, которые наиболее ощутимы на участках побережья между мысом Херсонес и мысом Плака.

3. Повторяемость сильных ветров северных румбов в месяцы холодного времени года повышается на побережьях Восточного Крыма и полуострова Тарханкут (наиболее быстро в окрестностях мыса Тарханкут). В месяцы теплого времени года она увеличивается на всем побережье Крымского полуострова, но темпы ее роста наиболее велики на его участках, расположенных между п. Опасное и м. Меганом (включая Керченский пролив).

4. Представляется вероятным, что при дальнейшем потеплении климата, выявленные тенденции изменения повторяемости сильных ветров на побережьях Крымского полуострова и прилегающих к ним морских акваториях сохранятся.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бухановский А.В., Зильберштейн О.И., Иванов С.В., Ковальчук С.В., Лопатухин Л.И., Попов С.К., Чумаков М.М. Моделирование экстремальных явлений в атмосфере и океане как задача высокопроизводительных вычислений. //

Вычислительные методы и программирование, 2008. Т.9, С. 141 - 153.

2. Bromwich D.H., Wilson A.B., Bai L.S., Moore G.W., Bauer P. A comparison of the regional Arctic System Reanalysis and the global ERA-Interim Reanalysis for the Arctic // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2016. Vol. 142. P. 644–658.

3. Dee D.P. et al. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2011. Vol. 137. № 656. P. 553–597. doi:10.1002/qj.828.

4. Stickler A.S. et al (2014): ERA-CLIM: Historical Surface and Upper-Air Data for Future Reanalyses. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 95(9), 1419-1430

5. Kallos G., Nickovic S., Jovic D., et al. The Regional Weather Forecasting System SKIRON and its capability for forecasting dust uptake and transport. // *Proceedings of the WMO conference on dust storms*. – Damascus, 1–6 Nov. 1997. – P. 9.

6. Papadopoulos A., Katsafados P., Kallos G., Nickovic S. The weather forecasting system for POSEIDON-An overview // *Global Atmos. Ocean Sys*. 2002. Vol 8, no. 2-3. P. 219-237.

7. Ivanov V.A., Shul'ga T.Y. Numerical Analysis of Surge Phenomena, Currents, and Pollution Transport in the Sea of Azov // *Doklady Earth Sciences*. 2018. V. 479. Iss. 2. P. 543–546.

8. Zijlema, M., Stelling, G. and Smit, P., 2011. SWASH: An operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters. *Coast. Engng.*, 58, 992-1012.

9. Черкесов Л.В., Шульга Т.Я. Численный анализ влияния параметров атмосферных фронтов на свободные и вынужденные колебания уровня и течения в Азовском море // *Труды ГОИН «Исследования океанов и морей»*. – 2017. – Вып. 218. – С. 120 – 137.

10. Черкесов Л.В., Шульга Т.Я. Численный анализ влияния скорости и направления продолжительно действующего ветра на циркуляцию вод Азовского моря с учетом и без учета водообмена через Керченский пролив // *Океанология*. 2018. Т.58, №1, С. 23–33. DOI 10.1134/S0001437018010022.

11. Кислов А.В., Суркова Г.В., Архипкин В.С. Повторяемость штормовых ситуаций в Балтийском, Черном и Каспийском морях в изменяющихся климатических условиях // *Метеорология и гидрология*. 2016. № 2. С.67-77.

12. База данных «Результаты реанализа ERA-Interim об изменениях среднесуточных скоростей ветра [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/era-interim>

13. Й. Берг, Й. Лёфстрём. Интерполяционные пространства. Введение. — М.: Мир, 1980. — 264 с.

14. Айвазян С.А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика и основы эконометрики. — М.: Юнити. - 1998. - 1022 с..

15. Гидрометеорологические условия морей Украины. Том 2: Черное море / Ильин Ю.П., Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н., Горячкин Ю.Н., Дьяков Н.Н., Кубряков А.А., Станичный С.В.; МЧС и НАН Украины, Морское отделение Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института.- Севастополь, 2012.- 421с.

16. Холопцев А.В., Подпорин С.А., Курочкин Л.Е. Вторжения арктического воздуха и современная климатическая изменчивость экстремальных температур и атмосферных осадков в Крыму// Строительство и техногенная безопасность. №12. (64). -2018. -С145-157.

17. Кремер Н. Ш., Путко Б. А. Эконометрика. — М.: Юнити-Дана, 2003—2004. — 311 с.

18. Скворцов А. В. Триангуляция Делоне и ее применение/ А. В. Скворцов.— Томск: Изд-во Томского государственного университета. -2002. - 128с.

19. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том 04. Черное море. Выпуск 1. Гидрометеорологические условия. Справочник. // СПб: Гидрометеоздат, 1991. — 430 стр.

20. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том 05. Азовское море. Справочник. // СПб: Гидрометеоздат, 1991. — 237 стр.

REFERENCES

1. Boukhanovsky A.V., Zilbershtein O.I., Ivanov S.V., Kovalchuk S.V., Lopatoukhin L.I., Popov S.K., Chumakov M.M. Extreme metocean event simulation as a problem for high-performance computing. *Vychislitelnye metody i programmirovaniye*. 2008. No. 9, pp. 141 – 153. (In Russian)

2. Bromwich D.H., Wilson A.B., Bai L.S., Moore G.W., Bauer P. A comparison of the regional Arctic System Reanalysis and the global ERA-Interim Reanalysis for the Arctic. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2016. Vol. 142, pp. 644 – 658.

3. Dee D.P. et al. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2011. Vol. 137. № 656, pp. 553 – 597.

4. Stickler A.S. et al. ERA-CLIM: Historical Surface and Upper-Air Data for Future Reanalyses. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 2014. No. 95(9), pp. 1419 – 1430.

5. Kallos G., Nickovic S., Jovic D., et al. The Regional Weather Forecasting System SKIRON and its capability for forecasting dust uptake and transport. *Proceedings of the WMO conference on dust storms*. 1997. P. 9.

6. Papadopoulos A., Katsafados P., Kallos G., Nickovic S. The weather forecasting system for POSEIDON-An overview. *Global Atmos. Ocean Sys.* 2002. Vol 8, No. 2–3, pp. 219–237.

7. Ivanov V.A., Shul'ga T.Y. Numerical Analysis of Surge Phenomena, Currents, and Pollution Transport in the Sea of Azov. *Doklady Earth Sciences*. 2018. V. 479. No. 2, pp. 543 – 546.

8. Zijlema M., Stelling G., Smit P. SWASH: An operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters. *Coast. Engng.*, 2011. No. 58, pp. 992 – 1012.

9. Cherkesov L. V., Shul'ga T. Ya. Numerical analysis of the effect of moving the pressure fields on the flow free and forced oscillations of level in the Azov Sea. *Trudy GOIN "Issledovaniia okeanov i morei"*. 2017. No. 218, pp. 120 – 137. (In Russian)

10. Cherkesov L. V., Shul'ga T. Ya. Numerical Analysis of the Effect of Speed and Direction of the Duration of Action of the Wind on the Circulation of the Azov Sea Water With and Without Water Exchange Through the Kerch Strait. *Okeanologiya*. 2018. Vol. 58. No. 1, pp. 23 – 33. (In Russian)

11. Kislov A.V., Surkova G.V., Arkhipkin V.S. Occurrence Frequency of Storm Wind Waves in the Baltic, Black, and Caspian Seas under Changing Climate Conditions. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2016. No. 2, pp. 67 – 77. (In Russian)

12. Climate Data. ERA-INTERIM Web. 15 July 2019 <<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/era-interim>>

13. Berg I., Lefstrem I. *Interpoliatsionnye prostranstva. Vvedenie [Interpolation spaces. Introduction]*. Moscow: Mir, 1980. 264 p.

14. Aivazyan S.A., Mhitaryan V.S. *Prikladnaya statistika i osnovy ekonometriki [Applied Statistics and Bases of Econometrics]*. Moscow: Yuniti, 1998. 1022 p.

15. Ilin Yu.P., Repetin L.N., Belokopytov V.N., Goriachkin Yu.N., Diakov N.N., Kubriakov A.A., Stanichnyi S.V. *Gidrometeorologicheskie usloviia morei Ukrainy. Tom 2: Chernoe more [Hydrometeorological Conditions of Ukrainian Seas. Volume 2: the Black Sea]*. Sevastopol: MChS i NAN Ukrainy, Morskoe otделение Ukrainского nauchno-issledovatel'skogo gidrometeorologicheskogo instituta, 2012. 421 p.

16. Kholoptsev A.V., Podporin S.A., Kurochkin L.Ye. Invasion of Arctic Air and Current Climate Variability of Extreme Temperatures and Total Precipitation in Crimea. *Stroitelstvo i tekhnogennaia bezopasnost*. 2018. No. 12 (64), pp. 145 – 157. (In Russian)

17. Kremer N.Sh., Putko B.A. *Ekonometrika [Econometrics]*. Moscow: Yuniti-Dana, 2003–2004. 311 p.

18. Skvortsov, A. V. *Triangulyatsiya Delone i ee primeneniye [Delaunay Triangulation and Its Application]*. Tomsk: Izd-vo Tomskogo gosudarstvennogo univer-siteta, 2002. 128 p.

19. *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morei. Tom 04. Chernoe more. Vypusk 1. Gidrometeorologicheskie usloviia. Spravochnik [Hydrometeorology and Hydrochemistry of the Seas. Volume 04. The Black Sea. Issue 1. Hydrometeorological conditions. Reference Book]*. Saint Petersburg: Gidrometeoizdat, 1991. 430 p.

20. *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morei. Tom 05. Azovskoe more. Spravochnik [Hydrometeorology and Hydrochemistry of the Seas. Volume 04. The Sea of Azov. Reference Book]*. Saint Petersburg: Gidrometeoizdat, 1991. 237 p.

MODERN TRENDS OF VARIATIONS IN THE CHARACTERISTICS OF DANGEROUS WINDS ON
THE COAST OF THE CRIMEAN PENINSULA

Kholoptsev A. V., Podporin S. A., Kurochkin L.Ye.

Summary. For the period from January 1, 1979 to December 31, 2018, we estimate mean characteristics and trends in frequency variability of winds that happened in different coastal parts of the Crimean Peninsula and posed major risks for vital activities of the local population, infrastructure, and shipping. Winds of various directions capable of compromising human life and causing damage to buildings and fleet are considered, the mean daily speed values of such winds being in excess of 10 m / s and 15 m / s (in gusts up to 25 m / s and 40 m / s).

Subject: current trends in frequency variations of winds blowing from different directions and featuring mean daily speed values that pose risks to the population, urban development, and shipping in certain months in different parts of the Crimean Peninsula coasts.

Materials and methods: As source data on mean wind characteristics on the coasts of the Crimean Peninsula, we use ERA-Interim reanalysis results. Their adequacy is verified through comparison with the factual monitoring data obtained from Roshydromet weather stations located within the peninsula. The total duration of winds of a particular rumba in different months, which is a quantitative characteristic of their repetitiveness, was estimated, as well as calculated parameters of its linear trend.

Results: We reveal the coastal parts of the Crimean Peninsula exhibiting increase in the frequency of winds capable of compromising human life, integrity of buildings, structures, and shipping safety.

Conclusions: The results of the present research are important for planning construction operations in various coastal parts of the Crimean Peninsula.

Key words: Crimean Peninsula, coast, dangerous winds, frequency, reanalysis, climate variations.

СПИСОК АВТОРОВ

Ажермачев С. Г., кандидат технических наук, доцент кафедры механики и сейсмостойкости сооружений Академии строительства и архитектуры Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского, г. Симферополь.

Ангелик И.П., старший преподаватель, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Бахтина Т.А., кандидат технических наук, доцент, кафедры строительного инжиниринга и материаловедения Академии строительства и архитектуры (структурное подразделение) Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского, г. Симферополь.

Бахтин А.С., кандидат технических наук, доцент, кафедры строительного инжиниринга и материаловедения Академии строительства и архитектуры (структурное подразделение) Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского, г. Симферополь.

Белоокая Н.В., кандидат технических наук, доцент, Иркутский национальный исследовательский технический университет.

Бумага А.И., кандидат технических наук., доцент, ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Локтионова Е.А., кандидат технических наук, доцент, Инженерно-строительный институт, г. Санкт-Петербург

Гамаюнова О. С., старший преподаватель, ФГАОУ ВО «СПбПУ», г. Санкт-Петербург

Гутарова М.Ю., кандидат технических наук, ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Зайцев О.Н., доктор технических наук, профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Клинцов А.Н., магистрант, С(ТГВ) м-о-187, ФВРиЭ, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Козинец Г.Л., доктор технических наук, профессор, Инженерно-строительный институт, г. Санкт-Петербург.

Кузьменко О.А. старший преподаватель, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Любомирский Н.В., доктор технических наук, профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Маслак А.С., старший преподаватель, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Менумеров Р. М., канд. физ.-мат. наук, доцент, КИПУ, г. Симферополь

Мусорина Т.А., ассистент, Инженерно-строительный институт, г. Санкт-Петербург.

Неснов Д.В., доцент кафедры начертательной геометрии и инженерной графики, Донецкий национальный технический университет

Нестерова А.Н., кандидат технических наук, НИУ МГСУ

Пшеничная-Ажермачёва К. С., ассистент кафедры механики и сейсмостойкости сооружений Академии строительства и архитектуры Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского, г. Симферополь.

Петриченко М.Р., доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Салиев Э.И., к.н.гос.у., доцент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Салиева М.Э., студентка 1-го курса АСФ, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Саргсян А.Е., доктор технических наук, профессор, академик МАИ при ООН, начальник НИОДиС АО «Атомэнергопроект», г. Москва

Толстой М.Ю., кандидат технических наук., профессор, Иркутский национальный исследовательский технический университет

Трякина А.С., кандидат технических наук, ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Холощев А.В., доктор. геогр. наук, доцент, Севастопольская морская академия.

Чемодуров В. Т. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой механики и сейсмостойкости сооружений Академии строительства и архитектуры Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского, г. Симферополь.

Эдимова С.Р., студентка гр. С(ВВ)б-о- 168, ФВРиЭ, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Ярошенко А.А., аспирант кафедры строительного инжиниринга и материаловедения Академии строительства и архитектуры (структурное подразделение) Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского, г. Симферополь.

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://stroyjournal-asa.ru>. Инструкция по использованию системы доступна на сайте. Автор имеет возможность следить за продвижением статьи в редакции в личном кабинете и получает соответствующие уведомления по электронной почте.

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 озаглавляется словом Таблица 1 (шрифт – обычный TNR 10 пт, по центру) со следующим за ним номером с точкой. Далее помещается название таблицы с прописной буквы (не более 3-х строк), без заключительной точки. Ниже приводится название таблицы на английском языке. Размер таблиц и рисунков не должен превышать размер В5 (12,5 × 19,5 см). Шрифт заголовков столбцов и строк, содержания таблицы – обычный TNR 9 пунктов. Таблицы нумеруются арабскими цифрами.

Рисунки и графики. Рисунки и графики озаглавляются словом Рис.1 (шрифт – обычный TNR 9 пунктов) со следующим за ним номером с точкой. Рисунки выполняются в графических редакторах, совместимых с Word и размещаются по тексту. Под рисунком помещается подпись на русском и английском языках. Короткая подпись центрируется, а если длинная – форматируется с абзацем первой строки. Качество рисунков и графиков должно обеспечивать прочтение и тиражирование. Рисунки и графики нумеруются арабскими цифрами.

Формулы. Формулы набираются в редакторе формул Equation или Math Type. Использовать для набора формул графические объекты, кадры и таблицы запрещается. Формула располагается по центру строки, номер формулы (в круглых скобках, TNR 10 пт) – по правому краю страницы, от окружающего текста отделяется пустыми строками. Формульное окно принудительно растягивать или сжимать нельзя. Применение единиц измерений в международной системе СИ – обязательно.

Обязательный порядок статьи.

- **УДК** в левом верхнем углу страницы, шрифт TNR 12 пт, прописными буквами
- **Название статьи шрифт** TNR 12 пт все прописными.
- **Имя и фамилия** автора(ов), шрифт обычный TNR 12 пт.
- **Место работы** авторов, шрифт обычный TNR 9 пт., адрес места работы, e-mail
- **Аннотация статьи (Abstract)** 200 – 250 слов, шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Предмет исследования (Subject)**: шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Материалы и методы (Materials and methods)**: шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Результаты (Results)**: шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Выводы (Conclusions)**: шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Ключевые слова (Key words)** до 6 слов и словосочетаний, необходимых для поиска или классификатора, шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Текстовая часть**. Статья должна содержать следующие разделы:
 - ВВЕДЕНИЕ;
 - АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ;
 - МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ;
 - РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ;
 - ВЫВОДЫ;
 - СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

Заголовки разделов набираются строчными буквами, шрифт TNR 11 пунктов и центрируются.

В конце статьи размещается **Название статьи, Имя и фамилия автора(ов), Место работы авторов, Аннотация статьи, Предмет исследований, Материалы и методы, Результаты, Выводы, Ключевые слова** на английском языке с сохранением редакторских требований, указанных выше к каждому структурному элементу статьи.

Рекомендации по подготовке аннотации статьи

Аннотация выполняет следующие основные функции:

- дает возможность читателю быстро оценить основное содержание статьи с тем, чтобы решить, следует ли ему обращаться к ее полному тексту;
- предоставляет читателю самую общую информацию о статье, устраняя необходимость чтения ее полного текста в случае, если статья представляет для читателя второстепенный интерес;
- используется в научных, библиотечных и поисковых информационных системах.

Аннотация к статье должна быть:

- информативной (не содержать общих слов);
- содержательной (отражать основное содержание статьи);
- структурированной (следовать логике изложения материала в статье);

Аннотация должна включать в себя:

- предмет и цель работы (если они не следуют из названия статьи);
- используемый метод или методы исследования;
- основные результаты исследования;
- отличия данной публикации от других, схожих по теме;
- область применения результатов;
- выводы, рекомендации, перспективы развития работы.

В аннотации следует избегать лишних вводных фраз (например, «автор статьи рассматривает...», «автор полагает...» и т.д.), а также сложных грамматических конструкций. Аннотацию следует писать как можно более лаконичным, точным и простым языком. Должна быть понятна широкому кругу читателей, поэтому не должна изобиловать научными терминами. Следует избегать общеизвестных сведений и штампов. Аннотация не должна включать в себя цитаты из текста статьи. В аннотации обычно используются конструкции констатирующего характера (автор анализирует, доказывает, излагает, обосновывает и т. д.), а также оценочные стандартные словосочетания (уделяет основное внимание, важный актуальный вопрос, проблема, детально анализирует, убедительно доказывает).

Список литературы оформляется на русском и английском языках.

Библиографическое описание выполняется по:

- ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание;
- ГОСТ 7.0.5-2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления;
- ГОСТ 7.82-2001. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов;
- Регламент включения научных журналов в Российский индекс научного цитирования. – М., 2008.

Не менее 12 источников, с ссылками на статьи в предыдущих выпусках сборника «Строительство и техногенная безопасность», в которых не участвовали авторы представленной статьи.

Рекомендации по подготовке списка литературы

- Цитирование двух или более источников под одним номером, одного и того же источника под разными номерами не допускается.
- Во всех источниках необходимо указывать фамилии и инициалы всех авторов.
- Ссылки на книги, переведенные на русский язык, должны сопровождаться ссылками на оригинальные издания с указанием выходных данных оригинального издания.
- Ссылки на книги должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название книги, город, год, количество страниц.

- Ссылки на статьи в журналах должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название статьи, название журнала, год, том (если указан), номер, страницы (первая и последняя, разделенные тире).
- Ссылки на сборники (конференции, симпозиумы) должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название сборника (конференции, симпозиума), город (место проведения), год, том (если указан), номер (если указан), количество страниц.
- Ссылки на статьи в сборниках (материалах конференций, симпозиумов) должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название статьи, название сборника (конференции, симпозиума), город (место проведения), год, том (если указан), номер (если указан), страницы (первая и последняя, разделенные тире).
- Ссылки на электронные ресурсы удаленного доступа должны содержать следующую обязательную информацию: название ресурса, режим доступа, дата обращения.
- В инициалах авторов между именем и отчеством пробел не ставится.
- В заголовке описания запятая после фамилии автора перед его инициалами может быть опущена.
- Если в документе один, два или три автора, то в сведениях об ответственности (т.е. за косой чертой после названия документа) они могут не повторяться.
- При наличии **четырёх и более** авторов в сведениях об ответственности (т.е. за косой чертой после названия документа) приводят фамилии **всех** авторов.
- Допускается предписанный знак точку и тире, разделяющий области библиографического описания, заменять точкой.
- Допускается не использовать квадратные скобки для сведений, заимствованные не из предписанного источника информации.

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать в список литературы ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНиПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях или расчетах или аргументации лучше делать непосредственно по тексту статьи.
2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.
3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.
4. Самоцитирование, т.е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных показателей автора.