

# СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

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

№ 32(84) – 2024

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» (ФГАОУ ВО «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 утверждённый ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации Перечень рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание учёных степеней кандидата наук, доктора наук

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**, советник РААСН,  
д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского)

Редакционная коллегия:

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

**Аверкова О.А.**, д.т.н., проф. (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород);

**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»;

**Гузнецков 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»;

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

**Нагаева З.С.**, член-корреспондент РААСН, д.арх., проф. –  
руководитель раздела «Градостроительство»

**Невзоров А.Л.**, советник РААСН, д.т.н., проф. (САФУ им. М.В.  
Ломоносова, Архангельск);

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

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

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

**Скибин Г.М.**, д.т.н., проф. (ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова,  
Новочеркасск);

**Тер-Мартirosян А. З.**, д.т.н., проф. (НИУ МГСУ, Москва)

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

**Федосов С.В.**, академик РААСН, д.т.н., проф. (МГСУ, Москва)

**Федюк Р.С.**, советник РААСН, д.т.н., доцент (ДВФУ, Владивосток);

**Фесенко Л.Н.**, д.т.н., проф. (ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова,  
Новочеркасск);

**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);

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

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

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

**Югов А.М.**, д.т.н., проф. (ДОННАСА, Макеевка)

## СТРОИТЕЛЬСТВО

### И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 32(84) – 2024

научно-технический журнал

Печатается по решению научно-технического  
совета ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»  
(протокол № 2 от 15.03.2024)

Координатор выпуска: *И.В. Николенко*  
Верстка: *Г.Р. Биленко*

Редакция Института «Академия строительства и  
архитектуры» ФГАОУ ВО «КФУ им.  
В.И. Вернадского»

Адрес редакции: 295006, Республика Крым,  
г. Симферополь, ул. Павленко, д. 3  
e-mail: [rio@napks.ru](mailto:rio@napks.ru)

Подписан в печать 29.09.2024.

Формат 70×108/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная.  
Гарнитура Times New Roman. Усл.-печ. л. 11,9.  
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](mailto: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**

<b>Губеев Э.П.</b> РАЗВИТИЕ ГОРОДА НА ОСНОВЕ КОНКУРСНОЙ ЗАЯВКИ ПО МАЛЫМ ГОРОДАМ И ИСТОРИЧЕСКИМ ПОСЕЛЕНИЯМ	5
<b>Сидорова В.В., Петислямова М.Т.</b> АРХИТЕКТУРНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ УЛИЦЫ СИМФЕРОПОЛЬСКОЙ В ГОРОДЕ ЕВПАТОРИЯ	13

### **Раздел 2. Строительство**

<b>Пушкарев Б.А.</b> ПРИМЕНЕНИЕ НЕИЗВЛЕКАЕМЫХ ТРУБЧАТЫХ ПУСТОТООБРАЗОВАТЕЛЕЙ И ЛЁГКИХ БЕТОНОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗДАНИЯ.	23
<b>Гургенян Н.В., Князян Н.Б.</b> РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ И КАМНЕПЕРЕРАБОТКИ	33
<b>Федоркин С.И., Елькина И.И., Макарова Е.С., Ибраимов Р.Ф.</b> УТИЛИЗАЦИЯ ШЛАМОВЫХ ПРОДУКТОВ ПРОМЫВКИ ОТСЕВОВ ШАРХИНСКОГО КАРЬЕРА В ПРОИЗВОДСТВЕ СТЕНОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	41

### **Раздел 3. Инженерное обеспечение**

<b>Гусенцова Я.А., Красногрудов А.В., Родыгина М.М., Высоцкая Н.Д.</b> МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В РАСЧЕТАХ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ	47
<b>Шурилин Е.А., Олехнович Я.А.</b> ВЛИЯНИЕ ОТКАЗА РАБОТЫ ОБЛИЦОВОЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ НА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАВЕСНЫХ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	55
<b>Романова Т.Н. Белоглазова, Т.Н.</b> ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ	63

### **Раздел 4. Экологическая безопасность**

<b>Манжилевская С. Е.</b> ПЛАНИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПРИ ТОЧЕЧНОЙ ЗАСТРОЙКЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ	75
<b>Курилина Т.А., Пазенко Т.Я., Курилин С.С.</b> ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОКИСЛИТЕЛЬНО – ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ ГАЛЬВАНОКОАГУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКЕ СТОКОВ	85
<b>Азаров В.Н., Бурлаченко О.В., Бурлаченко А.О., Елфимов К.А.</b> МЕТОДОЛОГИЯ ПРИНЯТИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТА КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА С УЧЕТОМ КРИТЕРИЯ ПЫЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА	93
<b>Список авторов</b>	99
<b>Руководство для авторов</b>	100

## **CONTENT**

### **Section 1. Town planning**

<b><i>Gubeev E.P.</i></b> DEVELOPMENT OF THE CITY ON THE BASIS OF A COMPETITIVE APPLICATION FOR SMALL TOWNS AND HISTORICAL SETTLEMENTS	5
<b><i>Sidorova V.V., Petislyamova M.T.</i></b> ARCHITECTURAL AND URBAN PLANNING DEVELOPMENT OF SIMFEROPOL STREET IN THE CITY OF EVPATORIYA	13

### **Section 2. Construction**

<b><i>Pushkarev B.A</i></b> APPLICATION OF NON-REMOVABLE TUBULAR COLLECTORS AND LIGHT-WEIGHT CONCRETE FOR REDUCING THE WEIGHT OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES AS ONE OF THE WAYS TO REDUCE THE SEISMIC IMPACT ON HIGH- RISE BUILDINGS.	23
<b><i>Gurgenyan N.V., Knyazyan N.B.</i></b> RADIATION PROTECTIVE COMPOSITE MATERIAL BASED ON ORE MINERALS AND STONE PROCESSING WASTE	33
<b><i>Fedorkin S.I., Elkina I.I., Makarova E.S., Ibragimov R.F.</i></b> UTILIZATION OF SLUDGE PRODUCTS OF WASHING OUT OF THE SHARKHINSKY QUARRY IN THE PRODUCTION OF WALL BUILDING MATERIALS	41

### **Section 3. Engineering Support**

<b><i>Gusentsova Ya., Krasnogradov A., Rodygina M., Vysotskaya N.</i></b> TURBULENCE MODELS IN CALCULATIONS OF AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF GAS FLOWS	47
<b><i>Shurshilin E. A., Olekhovich Ya. A.</i></b> THE IMPACT OF THE FAILURE OF THE CLADDING PANELS ON THE THERMAL PROPERTIES OF HINGED VENTILATED FACADE STRUCTURES	55
<b><i>Romanova T.N., Beloglazova T.N.</i></b> GAS SUPPLY EFFICIENCY BASED ON DIGITAL TRANSFORMATION	63

### **Section 4. Environmental safety**

<b><i>Manzhilevskaya S.E.</i></b> SCHEDULE OF CONSTRUCTION WORKS FOR SPOT CONSTRUCTION TO DETERMINE SPECIFIC DUST EMISSIONS	75
<b><i>Kurilina T.A., Pazenko T.Ya., Kurilin S.S.</i></b> THERMODYNAMIC ANALYSIS OF REDOX REACTIONS OCCURRING DURING GALVANOCOAGULATION WASTEWATER TREATMENT	85
<b><i>Azarov V.N., Burlachenko O.V., Burlachenko A.O., Elfimov K.A.</i></b> METHODOLOGY FOR MAKING OPTIMAL DECISIONS ON MANAGING THE LIFE CYCLE OF A CAPITAL CONSTRUCTION OBJECT, TAKING INTO ACCOUNT THE CRITERION OF ATMOSPHERIC AIR DUST POLLUTION	93
<b><i>List of authors</i></b>	99
<b><i>Authors Guide</i></b>	100

## Раздел 1. Градостроительство

УДК 711.455

### РАЗВИТИЕ ГОРОДА НА ОСНОВЕ КОНКУРСНОЙ ЗАЯВКИ ПО МАЛЫМ ГОРОДАМ И ИСТОРИЧЕСКИМ ПОСЕЛЕНИЯМ

Губеев Э.П.

Архитектурное бюро М2М3,  
Республика Татарстан, город Казань, ул. Адоратского, д. 51  
e-mail: pr-advance@mail.ru

**Аннотация:** Статья представляет собой исследование, посвященное разработке и реализации проекта "ТатАрские предания – в город старой дорогой по ул. Коммуны" в городе Арск. В основе исследования лежит анализ опросов жителей, выявивших необходимость благоустройства и развития маршрута, а также идентификацию проблем, существующих на проектной территории.

**Предмет исследования:** Реконструкция улицы Коммуны в городе Арск на основе его комплексного стратегического плана развития, включающего эффективные стратегии управления, устойчивое развитие инфраструктуры и продвижение культурных и общественных мероприятий для привлечения туризма и повышения экономического потенциала города.

**Материалы и методы:** В ходе исследования был применен анализ существующей городской инфраструктуры с определением критических вопросов, требующих улучшения в городе Арске, опрос и сбор отзывов жителей для определения их потребностей и предпочтений в отношении городского развития.

**Результаты:** Статья описывает предложенные решения, которые включают создание удобных тротуаров, освещение, велосипедные пути, строительство нового моста и реорганизацию перекрестка. Также рассматривается восстановление идентичности вокзальной площади и развитие исторического пространства. Авторы подчеркивают значимость проекта для города Арск и его потенциал в улучшении инфраструктуры и привлечении туристов. Благоустройство территории позволит проводить различные мероприятия, такие как свадебные церемонии, ярмарки и фестивали, что способствует повышению привлекательности города. В статье представлено финансирование проекта и прогнозируемые доходы от эксплуатации проектируемой территории, а также его связь с развитием муниципальных районов. Ожидается, что реализация проекта приведет к позитивным и долгосрочным изменениям в городе Арск, способствуя его экономическому развитию.

**Выводы:** Исследование представляет важные практические и теоретические результаты, подкрепленные данными опросов жителей и предложенными решениями для улучшения инфраструктуры города Арск и его развития как туристического направления.

**Ключевые слова:** малые города России, город Арск, развитие регионов, внутренний туризм, возрождение традиций, исторические ценности.

## ВВЕДЕНИЕ

Размер территорий Российской Федерации, с одной стороны, является ее преимуществом, с другой стороны, создает определенные трудности в построении эффективной системы управления. Современные реалии управления малыми городами сталкиваются с двумя блоками серьезных проблем. Внутренний блок представляет собой особенности самого города (или группы городов), продиктованные историческими и культурными особенностями развития, актуальными проблемами, форс-мажорными обстоятельствами. Внешний блок – это влияние соседних территорий, региональных и федеральных органов власти, политических, информационных и идеологических факторов. Следует отметить, что в настоящее время для налаживания эффективного управления территориями влияние внешнего блока является наиболее проблематичным. Таким образом, необходимы новые инструменты для управления. Такими инструментами являются разработка стратегической карты развития территорий в

регионе с обоснованным определением (выделением) «точек роста» или социальные проекты, способные создать синергический эффект и укрепить устойчивость регионов [1]. По сути, это создание эффективной экономической системы на региональном уровне.

В этой связи рассмотрим Республику Татарстан, которая уже несколько лет реализует проекты по благоустройству общественных пространств (дворов, парков, набережных), соответствующих федеральной повестке (устойчивое развитие малых и средних городов).

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ПРЕДЫСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Несмотря на преимущества обширных территорий Российской Федерации, существуют проблемы в создании эффективной системы управления, особенно в небольших городах. Обширных исследований по конкретным проблемам управления, с которыми сталкиваются небольшие городские районы, в литературе мало. В то время как в некоторых исследованиях

рассматривались сложности управления крупными городами, уникальным проблемам малых городов, таким как Арск, не уделялось достаточного внимания в научной литературе.

Отсутствие исследований по эффективным стратегиям управления в малых городах и потребность в новых инструментах для удовлетворения их конкретных потребностей легли в основу данного исследования. Целью настоящего исследования является разработка стратегической карты развития Арска, направленной на выявление "точек роста" и реализацию социальных проектов для повышения жизнестойкости региона и экономической стабильности.

## ЦЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основной целью данного исследования является разработка комплексного стратегического плана развития Арска, который включает в себя эффективные стратегии управления, устойчивое развитие инфраструктуры и продвижение культурных и общественных мероприятий для привлечения туризма и повышения экономического потенциала города.

Для достижения этой цели конкретными задачами исследования являются следующие:

1. Проанализировать существующую городскую инфраструктуру и определить критические области, требующие улучшения в Арске.
2. Проводить опросы и сбор отзывов жителей, чтобы определить их потребности и предпочтения в отношении городского развития.
3. Проанализировать успешные примеры стратегий городского развития и управления в других регионах, чтобы извлечь уроки и применить лучшие практики в контексте Арска.
4. Разработать стратегическую карту развития города, определив ключевые точки роста и социальные проекты.
5. Оценить экономический эффект от предлагаемых проектов развития и оцените потенциальное увеличение туризма и доходов региона.

Результаты этого исследования дадут ценную информацию и практические рекомендации градостроителям, политикам и местным органам власти для повышения общего качества жизни жителей Арска и содействия устойчивому росту и развитию города.

## Описание города Арск и его потенциал

Арские земли – самые древние в Казанском ханстве. Когда-то здесь, на живописном берегу реки Казанки, находились личные владения казанских правителей, а пограничная крепость Арск, построенная на высоком берегу и укрепленная земляным холмом, долгое время оставалась их надежной опорой. Крепость не смогла

противостоять только войскам Ивана Грозного, которые хотели захватить Казань. В 1552 году стрельцы, посланные царем, сожгли форпост и расчистили подъездные пути к Казани, позже, с 1606 года, город стал русской крепостью.

Сегодня Арск – небольшой, но вполне современный город на северо-востоке Татарстана, который имеет свой план развития, включающий создание новых общественных пространств, благоустройство дворов, ремонт фасадов и парковок. Проектная территория является частью поэтапного развития города. Бездорожье, неосвещенные кварталы и мусор в неположенных местах постепенно остаются в прошлом.

Масштабное благоустройство общественных пространств Арска началось с реализации проекта парка «Казан Су», который расположился на набережные реки Казанки (стоимость проекта 87 млн. руб). Жителям города не хватало места для летнего отдыха, а поскольку река является особо охраняемой природной территорией, на пустыре рядом создали искусственное озеро с песчаным дном и наполнили его чистой целебной родниковой водой [2]. В основе концепции лежат строчки из сказки «Су анасы» татарского поэта Габдуллы Тукая, передающие летнюю атмосферу и радость водных игр. В реализованном проекте эта идея отразилась пространствами в виде «кругов на воде» вокруг озера, где на радиальной пешеходной сетке располагаются различные зоны активностей. Мембрана для искусственного озера выполнена с учетом достижений последних технологий, также в рамках благоустройства были устроены родник и ручей, разработаны навигационные и тематические информационные зоны (Рисунок 1)

Благоустроена территория будет способствовать развитию предпринимательской деятельности, в частности, здесь планируется строительство круглогодичного кафе для комфортного времяпровождения жителей в зимнее время года.

Следующей заявкой на благоустройство стала площадь между улицами Советская и Большая. Данный проект – финалист Всероссийского конкурса лучших проектов создания комфортной городской среды в малых городах и исторических поселениях 2018 года. Архитектором были поставлены следующие задачи благоустройства: создание пространства, которое будет узнаваемо жителями не только Арска, но и всей Республики, сохранение существующего природного ландшафта улицы, увеличение площади озеленения и впитывающих поверхностей, где каждый элемент будет подчеркивать тематику [3].

На территории построен торговый комплекс и офисные помещения (Рисунок 2). Бюджет проекта составил 169 млн 500 тыс. руб. Ожидается рост капитализации объектов недвижимости (более 3,5%) попадающих в зону влияния проекта.



**Рис. 1** – Парк «Казан Су» в Арске (изображение из открытых источников)  
**Fig. 1** – Kazan Su Park in Arsk (image from open sources)



**Рис. 2** – Площадь между улицами Советская и Большая – реализация проекта (изображение из открытых источников)  
**Fig. 2** – The area between Sovetskaya and Bolshaya streets – project implementation (image from open sources)

Данное место и ранее было популярно, теперь стало еще более насыщенным и любимым горожанами пространством.

Предполагается, что за счет благоустройства территорий в город Арск увеличится поток туристов, что повлияет на рост выручки действующего бизнеса и налоговых отчислений. При расчете налоговых и неналоговых поступлений учитывается: НДС; поступления во внебюджетные фонды; увеличение налога на прибыль в связи с увеличением выручки текущего бизнеса; налога на прибыль от создания нового бизнеса; увеличение налога на землю после увеличения кадастровой стоимости земельного участка; увеличение налога на имущество после увеличения рыночной стоимости.

Цель поэтапного проектирования – сохранять и транслировать ценности города через архитектуру.

Арск постепенно благоустраивается, однако самая проходимая территория остается в запущенном состоянии. Улица Коммуны – новое проектное пространство, выбранное жителями города – это реализация потребности в появлении единого связного, удобного и безопасного маршрута между уже благоустроенными общественными пространствами.

В 2021 году в номинации «Малые города с количеством жителей от 20 до 50 тыс. человек» одним из победителей стал проект «ТатАрские предания – в город старой дорогой по ул. Коммуны» [4]. Проектируемая территория представляет собой пешеходный транзит, соединяющий железнодорожный вокзал и центральную часть города (Рисунок 3).



**Рис. 3** – Схема пешеходного транзита (изображение из открытых источников)  
**Fig. 3** – The scheme of pedestrian transit (image from open sources)

### Анализ проблем

Опросы жителей выявили необходимость благоустройства данного маршрута, организацию мостов через р. Казанку и устройство более удобных лестниц для подъема в центр. Также необходимы тротуары и велосипедные дорожки на южной части проектной территории.

На сегодняшний день рассматриваемое пространство имеет следующие проблемы: полное отсутствие тротуаров и освещения на исторической улице, которая ведет в сторону городского центра и ландшафтного парка «Казан Су» от привокзальной

площади; отсутствие велосипедной и пешеходной инфраструктуры в южной части города; несоответствие пешеходного моста существующим и планируемым потокам и потребностям горожан (ширина мостового перехода), «слепая» зона на перекрестке улиц Коммуны и Мостовой; утраченная средовая идентичность привокзальной площади; новодел на месте Арского городища; износ системы водоотведения; заброшенная историческая зона у водокачки; цветение и обмеление реки Казанки (сельскохозяйственные стоки, соседство рыбхоза); угроза потери арского ремесленничества; стагнация деловой активности города (Рисунок 4)



**Рис. 4** – улица Коммуны (изображение из открытых источников)  
**Fig. 4** – The street of the Commune (image from open sources)

## Планирование проекта

Вышеназванные проблемы планируется решать следующим образом: создать удобные тротуары и освещение пешеходного маршрута; организовать велосипедные пути; построить новый мост; реорганизовать перекресток улиц Коммуны и Мостовой; восстановить средовую идентичность вокзальной площади как напоминание о ценности места основания города; включить историческое

пространство у водокачки в развитие территории; создать пространство для городских сообществ, включив их в событийную программу территории; повышать инвестиционную привлекательность.

Теплое время года позволяет использовать проектируемую и прилегающие к ней территории наиболее активно. Так, историческая площадь станет местом сбора людей, на улице Коммуны возможно проведение детского полумарафона (Рисунок 5).



Рис. 5 – Визуализация проекта (изображение из открытых источников) [5]  
Fig. 5 – Visualization of the project (image from open sources) [5]

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Реализация проекта позволит создать новые точки проведения круглогодичных мероприятий – свадебных церемоний, ярмарок на вокзале, возвращая ему утраченную функцию рынка. Благоустройство территории будет способствовать расширению фестивальной и праздничной площадки города. Особым колоритным мероприятием может стать проведение массовых ифтаров (приемов пищи после захода солнца) [6]. Арск нередко называют маленькой Швейцарией из-за особенности местной архитектуры – многие здания построены из красного кирпича, и именно это визуально «роднит» Арск с уютными европейскими городками, будто сошедшими со страниц сказок [7]. Город обладает большим потенциалом – богатой историей, уникальными ремеслами, красивой природой. Задача проекта – усилить и использовать эти особенности в архитектурных решениях.

На проект «ТатАрские предания – в город старой дорогой по ул. Коммуны» из федерального бюджета выделено – 70 млн руб. Планируется, что в 2023 году доходы регионального и/или муниципального бюджета от эксплуатации проектируемой

территории составят 5 млн 649 тыс. руб. Прогноз роста посещаемости территории, благоустроенной в рамках проекта (пешеходный трафик в год) до 46 тысяч человек. Количество туристов, посетивших МБУ «Арский историко-этнографический музей «Казан арты» в пандемийном 2020 году составило 1 800 человек. Таким образом туристическая посещаемость территории составит не менее 2 000 человек.

Предлагаемые решения выходят за рамки простого благоустройства. Работа над проектами связывает развитие конкурсных территорий с планами и задачами муниципальных районов по их развитию, экономическим положением, градостроительной ситуацией, результатами социально-культурных исследований. Следовательно, реализация проекта запустит позитивные и долгосрочные изменения в городе.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Можно сделать вывод, что проект "ТатАрские предания – в город старой дорогой по ул. Коммуны" в городе Арск имеет потенциал для существенного улучшения инфраструктуры и привлечения туристов. Благоустройство и развитие маршрута, а также создание комфортных условий для горожан и

посетителей города являются ключевыми целями проекта.

Проблемы, выявленные в проектной территории, включая отсутствие тротуаров, ограниченность пешеходных и велосипедных маршрутов, а также неудовлетворительное состояние пешеходного моста, требуют срочных мер по решению. Предложенные решения, такие как создание тротуаров, велосипедных дорожек, нового моста и реорганизация перекрестка, являются эффективными шагами к улучшению инфраструктуры и повышению удобства использования общественных пространств.

Развитие проектной территории не только способствует улучшению городской инфраструктуры, но и создает новые возможности для культурных и социальных мероприятий. Предложения о проведении свадебных церемоний, ярмарок и фестивалей на вокзале, а также включение исторического пространства у водоканчки в развитие территории позволят привлечь больше посетителей и повысить туристическую привлекательность города.

Финансирование проекта из федерального бюджета и прогнозируемые доходы от эксплуатации проектируемой территории свидетельствуют о государственной поддержке и значимости данного проекта для города Арск. Ожидается, что усиление инвестиционной привлекательности и повышение посещаемости территории сыграют важную роль в развитии города и укреплении его экономического потенциала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И.И. Необходимые изменения подходов к управлению территорией в современных условиях. Поиск новых подходов к динамичному развитию малых городов и исторических поселений: сборник статей / под науч. ред. д-ра экон. наук, проф. М. Ю. Шерешевой. – М.: Экономический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, 2019. – 58-63 с. URL: <https://www.econ.msu.ru/sys/raw.php?o=61029&p=attachment> (дата обращения: 22.06.2022)
2. Проект Россия. URL: <https://prorus.ru/projects/naberezhnaya-kazan-su-v-arske/> (дата обращения: 22.06.2022)
3. Степанчук А.В., Салыхова В.М. Некоторые аспекты формирования общественных пространств, как мест коммуникации туристов и местных жителей (на примере г. Арска) // Известия КазГАСУ. 2019. №4 (50). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-aspekty-formirovaniya-obschestvennyh-prostranstv-kak-mest-kommunikatsii-turistov-i-mestnyh-zhiteley-na-primere-g-arska> (дата обращения: 22.06.2022)
4. ГКУ «Главное инвестиционно-строительное управление РТ» (ГИСУ РТ). Шесть объектов благоустройства Татарстана победили во Всероссийском конкурсе лучших проектов создания комфортной городской среды. URL:

<https://gisu.tatarstan.ru/index.htm/news/2006171.htm> (дата обращения: 22.06.2022)

5. Архитектурное бюро M2M3. Маршрут по улице Коммуны в Арске. URL: [http://park.tatar/arsk\\_konkurs](http://park.tatar/arsk_konkurs) (дата обращения: 22.06.2022)

6. Фасухудинова З.Р., Рубцов В.А. Перспективы развития этнографического туризма в Арском муниципальном районе. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29172098> (дата обращения: 22.06.2022)

7. Явдолюк Н. Маленькая Швейцария, или в чем феномен Арска. URL: <https://www.business-gazeta.ru/article/473263> (дата обращения: 22.06.2022)

8. Архитектурное бюро M2M3. Маршрут по улице Коммуны в Арске. URL: [http://park.tatar/arsk\\_konkurs](http://park.tatar/arsk_konkurs) (дата обращения: 22.06.2022)

## REFERENCES

1. Saveliev I.I. Necessary changes in approaches to territory management in modern conditions. Search for new approaches to the dynamic development of small towns and historical settlements: collection of articles / under the scientific editorship of Dr. of Economics, prof. M. Y. Sheresheva. – M.: Faculty of Economics of Lomonosov Moscow State University, 2019. – 58-63 p. URL: <https://www.econ.msu.ru/sys/raw.php?o=61029&p=attachment> (date of application: 06/22/2022)
2. The Russia project. URL: <https://prorus.ru/projects/naberezhnaya-kazan-su-v-arske/> (date of access: 06/22/2022)
3. Stepanchuk A.V., Salakhova V.M. Some aspects of the formation of public spaces as places of communication between tourists and local residents (on the example of the city of Arsk) // Izvestiya KazGASU. 2019. No.4 (50). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-aspekty-formirovaniya-obschestvennyh-prostranstv-kak-mest-kommunikatsii-turistov-i-mestnyh-zhiteley-na-primere-g-arska> (date of application: 06/22/2022)
4. State Institution "Main Investment and Construction Management of the Republic of Tatarstan" (GISU RT). Six Tatarstan landscaping facilities have won the All-Russian competition for the best projects for creating a comfortable urban environment. URL: <https://gisu.tatarstan.ru/index.htm/news/2006171.htm> (date of application: 06/22/2022)
5. Architectural bureau M2M3. Route along the street of the Commune in Arsk. URL: [http://park.tatar/arsk\\_konkurs](http://park.tatar/arsk_konkurs) (accessed: 06/22/2022)
6. Fasakhudinova Z.R., Rubtsov V.A. Prospects for the development of ethnographic tourism in the Arsky municipal district. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29172098> (date of application: 06/22/2022)
7. Yavdolyuk N. Little Switzerland, or what is the phenomenon of Arsk. URL: <https://www.business-gazeta.ru/article/473263> (date of application: 06/22/2022)

8. Architectural bureau M2M3. Route along the street of the Commune in Arsk. URL: [http://park.tatar/arsk\\_konkurs](http://park.tatar/arsk_konkurs) (accessed: 06/22/2022)

## DEVELOPMENT OF THE CITY ON THE BASIS OF A COMPETITIVE APPLICATION FOR SMALL TOWNS AND HISTORICAL SETTLEMENTS

Gubeev E. P.

Architectural Bureau M2 M3,  
Republic of Tatarstan, Kazan, Adoratsky str., 51  
e-mail: pr-advance@mail.ru

**Abstract:** The article is a study devoted to the development and implementation of the project "Tatar legends – to the city by the old road along Commune Street" in the city of Arsk. The study is based on the analysis of surveys of residents who identified the need for improvement and development of the route, as well as the identification of problems existing in the project area.

**The subject of the study:** The reconstruction of the Commune Street in the city of Arsk on the basis of its comprehensive strategic development plan, which includes effective management strategies, sustainable infrastructure development and the promotion of cultural and social events to attract tourism and increase the economic potential of the city.

**Materials and methods:** During the study, an analysis of the existing urban infrastructure was applied to identify critical issues requiring improvement in the city of Arsk, a survey and collection of feedback from residents to determine their needs and preferences for urban development.

**Results:** The article describes the proposed solutions, which include the creation of convenient sidewalks, lighting, bike paths, the construction of a new bridge and the reorganization of the intersection. The restoration of the identity of the station square and the development of the historical space are also being considered. The authors emphasize the importance of the project for the city of Arsk and its potential to improve infrastructure and attract tourists. Landscaping of the territory will allow for various events such as wedding ceremonies, fairs and festivals, which helps to increase the attractiveness of the city. The article presents the financing of the project and the projected revenues from the operation of the projected territory, as well as its connection with the development of municipal districts. It is expected that the implementation of the project will lead to positive and long-term changes in the city of Arsk, contributing to its economic development.

**Conclusions:** The study presents important practical and theoretical results, supported by data from surveys of residents and proposed solutions to improve the infrastructure of the city of Arsk and its development as a tourist destination.

**Key words:** small towns of Russia, the city of Arsk, regional development, domestic tourism, revival of traditions, historical values.



УДК 711.455(210.5)

## АРХИТЕКТУРНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ УЛИЦЫ СИМФЕРОПОЛЬСКОЙ В ГОРОДЕ ЕВПАТОРИЯ

Сидорова<sup>1</sup> В.В., Петислямова<sup>2</sup> М.Т.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского»,  
Институт «Академия строительства и архитектуры»,  
295493, Республика Крым, г. Симферополь, улица Киевская, 181.,  
E-mail: <sup>1</sup>nucikBBC@yandex.ru, <sup>2</sup>mpt01@mail.ru

**Аннотация.** Актуальность развития улицы Симферопольской в городе Евпатории Республики Крым обусловлена повышением потребности улучшения качества приморской городской среды. В последнее время западная часть побережья Крыма набирает все больший интерес среди туристов. Одним из самых популярных туристских городов является Евпатория. Выявлены основные архитектурно-градостроительные проблемы приморской зоны в районе ул. Симферопольской: моральный износ малоэтажной жилой застройки, не привлекательный эстетический вид фасадов зданий и сооружений, отсутствие набережной и комфортного благоустройства территории. В настоящее время в благоустройстве рассматриваемой территории отсутствует единый архитектурный стиль – гармоничный облик улицы. В работе проанализированы теоретические и практические материалы, касающиеся объекта исследования, сделан анализ мировых аналогов. Предложены научные принципы и практические рекомендации по реконструкции улицы Симферопольской с прилегающей приморской территорией – набережной и пляжа. Для апробации результатов исследования разработана экспериментальная проектная модель.

**Предмет исследования:** реконструкция улицы Симферопольской в г. Евпатория с прилегающей приморской территорией, благоустройство.

**Материалы и методы:** в ходе исследования был применен анализ проектов мировых аналогов. Для выявления исторической закономерности развития территории применяется сравнительный анализ прибрежных территорий советского периода и в настоящее время. В процессе подбора материалов по теме публикации и анализа градостроительной ситуации, применены методы: дедукции, теоретического анализа и синтеза, метод аналогии, натурные обследования, фотофиксация, критический и градостроительный анализ, экспериментальное проектирование.

**Результаты:** Для увеличения продолжительности курортного сезона и повышения привлекательности исследуемой территории определены основные показатели: формирование идентификационного архитектурного образа прибрежной полосы улицы Симферопольской в г. Евпатории, привлечение инвесторов для реализации проектов, расширение сферы предоставляемых услуг туристам.

Предлагается применение разработанных научных принципов для развития улицы и прилегающих прибрежных территорий:

- принцип целостности структуры пространства;
- экологический принцип;
- принцип инвестиционной привлекательности;
- принцип приумножений позитивных факторов использования и развития существующих функций застройки и территории;
- принцип сохранения и обновления;
- принцип преемственности;
- принцип архитектурно-художественной выразительности и функционального разнообразия.

Формирование и преобразование городских общественных рекреационных зон прибрежных территорий должно иметь продуманную стратегию планомерного, поэтапного проведения работ по строительству объектов и благоустройству прибрежных территорий. Для соблюдения вышеперечисленных принципов необходимо разработать стратегию или концепцию развития территории и придерживаться её при реконструкции территории.

**Выводы:** По результатам анализа мирового и отечественного проектирования и реконструкции набережных были выявлены актуальные тенденции формирования городских рекреационных зон прибрежных территорий, которые следует применять также для г.Евпатории:

- 1) развитие инфраструктуры пешеходного движения путем освоения береговой полосы как системы пешеходных пространств в контакте с береговой линией водных объектов;
- 2) максимально возможная удаленность водных объектов от интенсивных транспортных потоков, отдавая предпочтение пешеходным пространствам;
- 3) совершенствование зеленой зоны как инфраструктуры прибрежных территорий, путем формирования целостной, непрерывной полосы или островов зелени;
- 4) формирование в границах прибрежных территорий многофункциональной системы, объединяющей рекреационные зоны и общественные пространства, взаимодействие пешеходной, зеленой, воднойинфраструктур как единого целого;
- 5) развитие прибрежных территорий как комплексных объектов городской культуры.

Применение разработанных принципов и рекомендаций, заложенных в экспериментальную проектную модель – концепцию реконструкции приморской улицы Симферопольской в г.Евпатории на практике будет способствовать качественному развитию городской среды.

**Ключевые слова:** развитие улицы, реконструкция улицы, набережная, прибрежная зона, городская среда, жилая застройка.

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема освоения прибрежных городских пространств волнует градостроителей всего мира. Набережные – это огромный рекреационный природный потенциал, который редко используют в полной мере. В результате эти территории просто не развиты для качественной городской жизни, хотя могли бы приносить не только пользу горожанам, быть местом инвестиций и денежных поступлений в бюджет.

Одна из главнейших задач развития приморских населенных пунктов западного побережья Республики Крым - привлечение туристов и отдыхающих, строительство рекреационных и санаторно-курортных комплексов, создание туристских центров. Индустрия туризма занимает первое место в экономике полуострова Крым.

Приморскому городу Евпатория уже более 2500 лет. Улица Симферопольская является важной городской артерией, которая протянулась между морским побережьем Черного моря и озером Сасык. Это восточная окраина города и инфраструктура здесь развита слабо.

Несмотря на то, что город Евпатория теряет свою отчетливость в качестве ведущего пляжного направления, в настоящее время властями Республики Крым предпринимаются усилия по стратегическому позиционированию пляжей Евпатории [1].

Набережные и озеленённые пространства в данном исследовании определены не только как места отдыха населения, обладающими эстетическими качествами, но и как зоны, выполняющие важнейшую оздоровительную функцию, будучи источником свежего воздуха и морского бриза. Они создают благоприятные условия для пешеходов. Их защитные зелёные коридоры и соседство с водой стимулируют проветривание городской застройки. Люди воспринимают воду как особенную ценность и место притяжения. Издревле наличие водоёма повышает качество жизни в городе.

Целью исследования являются разработка принципов и рекомендаций с внедрением в проектную модель концепции развития ул. Симферопольской в г. Евпатории для повышения качества городской среды и развития туристической привлекательности.

Для создания променада на исследуемой территории необходима комфортная ширина. Однако, на сегодняшний день, береговая полоса ул. Симферопольской застроена частными жилыми домами, гостиничными комплексами, гостевыми домами и туристическими базами, разнообразными объектами общественного питания и хозяйственными постройками. Перечисленные объекты находятся в непосредственной близости к кромке моря, тем самым вытесняют береговую полосу моря, потенциальную для создания полноценной набережной.

Пляжные территории улицы Симферопольской в г. Евпатории широко ценятся жителями и туристами. Однако низкий уровень средовых характеристик снижает как количество времени пребывания у моря, так и количество людей, посещающих прибрежную зону.

Для достижения концептуальной цели развития ул. Симферопольской, были поставлены следующие задачи:

- проанализировать зарубежный и отечественный опыт проектирования и реконструкции приморских территорий;
- проанализировать природно-климатические и геоморфологические условия территории;
- изучить градостроительную ситуацию;
- проработать перспективный генеральный план участка с учетом связей с окружающей территорией;
- разработать планировку зданий и их архитектурный облик;
- найти оптимальные конструктивные решения;
- обеспечить доступность среды для маломобильных групп населения;
- благоустроить общественные зоны;
- подобрать ассортимент озеленения с учетом климатических и эстетических требований.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Развитием, реконструкцией, благоустройством набережных в своих трудах занимались: Цитман Т. Алимova Ю.Р. [2]; Калмыкова К.А. и Шкотова О.В. [3]; Скобелева А.Ю. [4]; Клинова А.В. и Шкотова О.В.[5]; Сокол О.В. и Сидорова В.В.[6].

В научной статье Сидоровой В.В. и Маслий В.В. «Мировой опыт по градостроительному развитию приморских курортов» [7] проанализирован отечественный и зарубежный опыт возникновения приморских курортов, а также архитектурно-планировочные принципы градостроительного зонирования, и принципы градостроительного развития.

В статьях [8-10] Сидорова В.В. рассмотрела: проблемы планировочной организации прибрежных территорий в условиях реконструкции курортов, градостроительную типологию и терминологию приморских территорий. Анализ публикаций свидетельствует о том, что вопрос реконструкции общественных пространств в границах прибрежной полосы, в том числе городских набережных, чрезвычайно актуален и должен быть изучен и профессионалами в разных сферах деятельности: градостроителями, архитекторами, социологами, экономистами, инженерами, технологами и т.д.

Проанализировав современный опыт проектирования и реконструкции набережных крупных прибрежных городов, можно выделить общие направления преобразования прибрежных территорий, которые могут быть применены в целях устойчивого развития прибрежных территорий.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

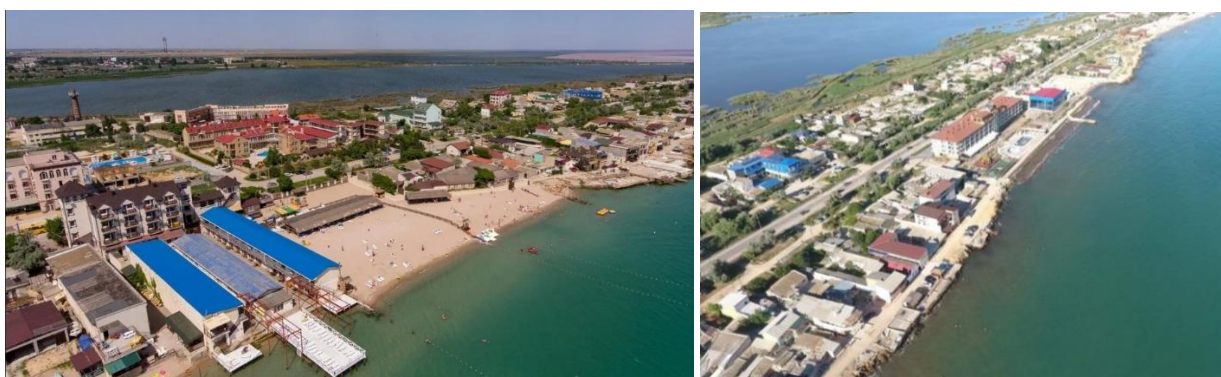
В ходе исследования был применен анализ мировых аналогов, проводились натурные обследования и фотофиксация территории. Для выявления исторической закономерности развития территории применяется сравнительный анализ прошлого и настоящего. Для выявления мировых тенденций и закономерностей анализируются прибрежные территории в мировой практике проектирования. В работе проанализированы теоретические и практические материалы, касающиеся объекта исследования, сделаны выводы. В процессе подбора материалов по теме публикации и анализа полученных результатов применены методы теоретического анализа и синтеза, метод аналогии. Для апробации

полученных научных результатов применен метод экспериментального проектирования.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Привлечение туристов и отдыхающих – одна из главных задач формирования приморских населенных пунктов Крыма. Комплексное развитие прибрежных зон с учётом социально-экономических факторов позволит улучшить условия проживания для местных жителей и гостей.

Для обоснования выбора концептуального решения сложившихся задач по развитию ул. Симферопольской были проведены натурное обследование территории, предпроектный анализ территории и подбор различных аналогов из мировой практики. На рис. 1 представлены виды сверху на застройку рассматриваемой улицы.



**Рис. 1.** Существующее состояние застройки ул. Симферопольской в г. Евпатория

**Fig. 1.** The current state of development of Simferopolskaya street in Evpatoria

Проведено исследование наиболее успешных зарубежных проектных работ по реконструкции прибрежных территорий. Ниже приведены некоторые примеры объектов.

Проанализировав современный опыт проектирования и реконструкции набережных крупных прибрежных городов, выделены общие направления преобразования прибрежных территорий, которые могут быть применены в целях устойчивого развития г. Евпатории.

В качестве современного отечественного аналога рекреационного использования прибрежных зон рассмотрим пример комфортной среды набережной реки Амур в г. Благовещенске. Проект реконструкции был реализован в рамках федеральной целевой программы «Экономическое и социальное развитие Дальнего Востока и Забайкалья на период до 2013 года» (смотри рис. 2).

Концепция благоустройства максимально раскрывает видовой, экологический и рекреационный потенциал акваторий, сделает набережные доступным, узнаваемым и востребованным местом отдыха общегородского масштаба. По сути, это проект нового столичного парка у воды. Концепция призвана не только

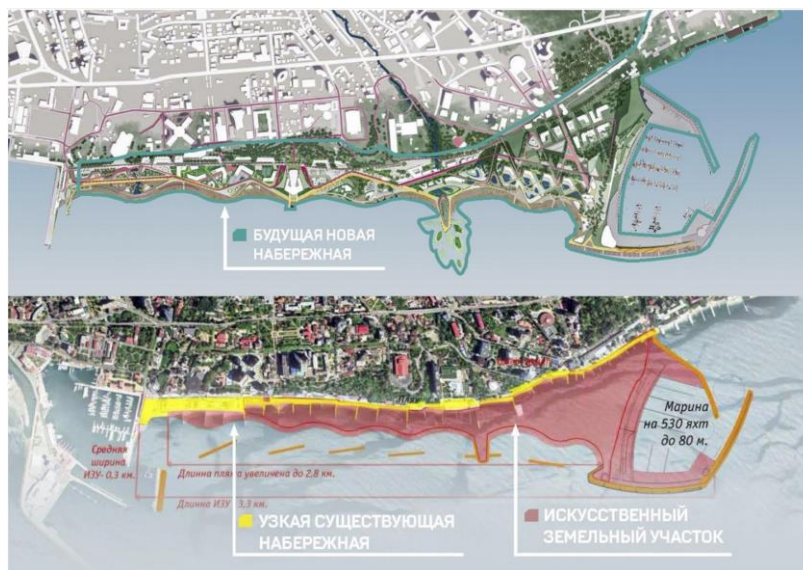
привести в порядок прибрежные природные территории, но и вдохнуть в них жизнь, сделать из них полноценные общественные пространства [11].

Обустройство речных набережных в первую очередь ведется для защиты города от паводков. Набережная как гидротехническое сооружение для сдерживания реки от затопления города и стабилизации русел. Приморская набережная также первоначально выполняет защитную функцию побережья, но от размыва его штормами. Современная набережная является также благоустроенным, озелененным променадом и может быть площадкой многофункционального использования.

Еще одним ярким примером рекреационного использования прибрежных зон является концепция реконструкции приморского парка и набережной центрального района г. Сочи (рис. 3). Основные решения по размещению бун приняты с учетом основных планировочных осей, поэтому, в среднем, межбунное расстояние составляет около 500 м.



**Рис. 2.** Набережная реки Амур, г. Благовещенск  
**Fig. 2.** The embankment of the Amur River, Blagoveshchensk



**Рис. 3.** Концепция реконструкции приморского парка и набережной центрального района г. Сочи  
**Fig. 3.** The concept of reconstruction of the primorsky Park and the embankment of the central district of Sochi

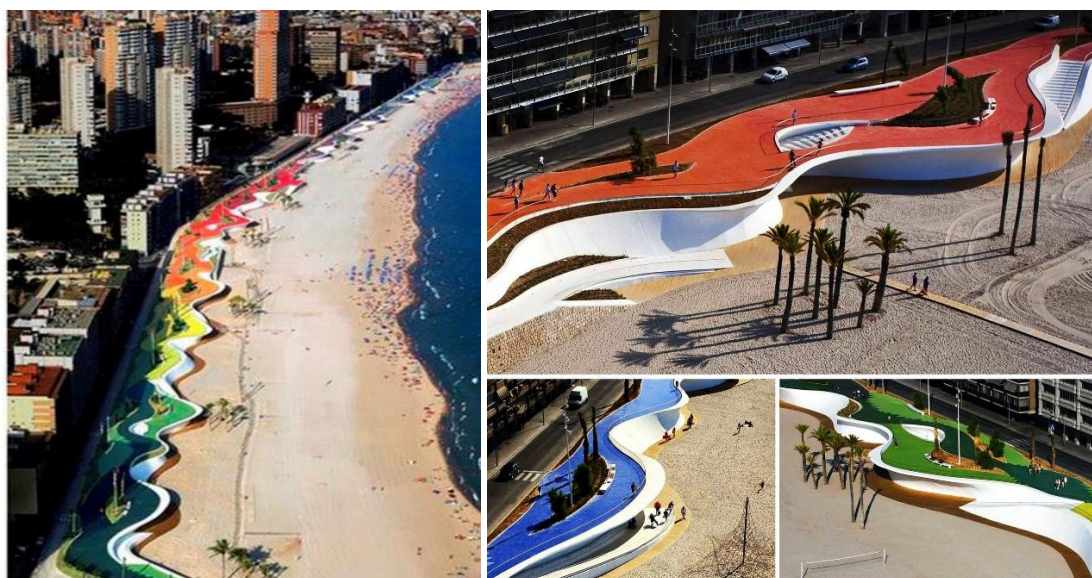
Авторы концепции надеются, что новая Приморская набережная станет испытательной площадкой, где будут применены такие инновационные технологии, как: объекты альтернативной энергетики, различные технологии энергосбережения, водоподготовки и водоотведения, очистки поверхностных стоков, а также технологии зеленого строительства. Концепция предполагает расширение набережной с трех до 30 метров за счет создания искусственного земельного участка – отсыпки береговой линии – который позволит обеспечить безопасную систему прогулочных зон и велосипедных дорожек.

Технико-экономические показатели по концептуальному генеральному плану набережной г. Сочи следующие: площадь территории в границах концептуального проектирования вместе с прилегающими территориями – 126,7 га, в том числе Нижняя набережная, включающая вновь создаваемые территории 19,48 га. Общая

протяженность набережной — 2200 м, ширина новой набережной составит 30 м, а общая протяженность пляжа 2015 м. При таких показателях единовременная вместимость пляжа принята по проекту составляет 11061 чел [12].

Рассмотрим еще уникальную набережную в г.Бенидорме, Испания. Она имеет название «Бегущие по волнам», протяженность 6 км. Особенностью набережной является ее волнообразная форма, а также ее необычное цветовое решение всех цветов радуги. Нависающая часть набережной является одновременно тенью навесом для прогулок по нижнему уровню (рис. 3).

Воплотив задумку авторов, набережная прекрасно справилась с ролью изящной «ступени», ведущей от урбанистического пейзажа мегаполиса, складывающегося из высотных зданий, аттракционов, баров и ресторанов, к узкой полосе песчаного пляжа и горизонту Средиземного моря [14].



**Рис. 4.** Набережная в г. Бенидром, Испания  
**Fig. 4.** The embankment in Benidrom, Spain

Также одним из интересных реализованных зарубежных проектов является приморский пятизвездочный Отель Марко Поло в г. Кемер, Турция. Отель находится в пригородном районе под названием Чамьюва. Расстояние от территории отеля до пляжа с собственным причалом составляет около 100 метров и находится в удобной пешеходной доступности (рис. 5). Отель построен в

1898 году и становится все популярнее с каждым годом. Комплекс периодически реконструируют и ремонтируют, чтобы гостей окружала эстетичная качественная и безопасная среда. Территория отеля Марко Поло составляет 125 тыс. кв. км. На территории расположены различные магазины и бутики, СПА-центр, салоны красоты и другие постройки.



**Рис. 5.** Отель Марко-поло. Турция, Кемер  
**Fig. 5.** The Marco Polo Hotel. Turkey, Kemer

Протяженность пляжа отеля Марко Поло – Кемер составляет 300 метров. Пляж песчано-галечный с причалом, оборудован шезлонгами, зонтами. На пляже можно заниматься водными видами спорта или просто приятно проводить время. Клубы по интересам делится на три возрастных группы, отдельное внимание уделено детской группе, где организовывают мероприятия, игры и конкурсы для детей разного возраста [12].

Условно территория отеля разделяется на три части: общественную, обслуживающую и жилую. Архитектурный стиль отеля напоминает одновременно средиземноморский и итальянский стили. Облик зданий и сооружений на территории может варьироваться в стилевых рамках, но есть нечто общее, что их объединяет: невысокие черепичные кровли, широкие карнизы, несколько

этажей, подшив кровли деревом. Часть фасадов облицована камнем, некоторые стены покрыты им полностью. Сочетание простоты и определенной доли роскоши делают данные здания не похожими на другие, и всегда узнаваемыми. Локальные цвета фасадов и конструктивные особенности выделяют дома в итальянском стиле среди прочих построек. Данный стиль наполнен умиротворением и уютом, оставаясь при этом ярким и интересным (рис.5). Отель Марко Поло в городе Кемер был выбран в качестве аналога зарубежного опыта проектирования для изучения итальянского и средиземноморского стилей в зданиях и сооружениях.

При подборе аналогов для анализа предпочтение отдавалось наиболее успешным реализованным проектам, которые могут быть концептуально

адаптированы для г. Евпатория, в частности для реконструкции ул. Симферопольской.

Изучена научная литература и нормативно-правовые документы. Анализ данных свидетельствует о том, что вопрос реконструкции общественных пространств в границах прибрежной полосы, в том числе городских набережных, чрезвычайно актуален и должен быть изучен специалистами разных сфер деятельности (градостроителями, архитекторами, социологами, экономистами, инженерами, технологами и т.д.). Также актуальным направлением является обновление ветхой малопривлекательной, не ценной застройки вблизи прибрежной зоны моря курортных городов Крыма.

В ходе исследований выявлено, что необходима комплексная реконструкция территории улицы Симферопольской в г. Евпатории, которая включает в себя взаимосвязанные между собой элементы благоустройства территории.

Несмотря на то, что большинство курортных комплексов и санаториев работает круглогодично, с окончанием курортного сезона города и поселки Крыма частично пустеют. Для решения этой проблемы целесообразно применить ряд принципов:

Принцип целостности структуры пространства. Он включает в себя создание целостной системы открытых пространств в основе функционального зонирования прибрежной территории, которые между собой могут соединяться при помощи перетекания одного пространства в другое, прямыми или косвенными связями, многоуровневым зонированием пространства. Применение данного принципа способствует удобному функциональному использованию пляжных территорий.

Экологический принцип является основным для многих видов деятельности человека и должен быть в приоритете на всех этапах проектирования рекреационного пространства, начиная с зонирования территории и заканчивая выбором объектов озеленения. Важным экологическим аспектом является расчет интенсивности рекреационной нагрузки территории, а также влияние негативных воздействий на акваторию (наличие морских вокзалов, яхт-клубов, магистральных дорог вдоль береговой полосы). Также принцип подразумевает применение «зеленой» архитектуры, технологий и материалов.

Принцип инвестиционной привлекательности территории заключается в максимально эффективном использовании пространства, создании объектов развлечений, отдыха, питания, которые имеют возможность окупаться, развиваться и видоизменяться в зависимости от сезона. Этот принцип напрямую зависит от стратегического направления развития города.

Например, строительство аквапарка будет очень привлекательным, имеет отношение именно к береговому пространству в существующих населенных пунктах [13].

Принцип приумножений позитивных факторов использования и развития существующих функций застройки и территории. Приумножаются существующие достоинства. Например, одним из факторов туристической привлекательности Евпатории являются ее лечебные грязи. Этот фактор лежит в основе создания лечебных санаториев на территории города. Приумножением этого позитивного фактора будет являться дальнейшее развитие санаторно-курортной базы, выход качества услуг рекреационного обслуживания на мировой уровень.

Принцип индивидуальности архитектурно-градостроительных решений является очень важным и актуальным, так как напрямую влияет привлекательность, узнаваемость территории и как следствие на количество отдыхающих. Именно разнообразие привлекает туристов, возможность увидеть что-то новое и интересное, не похожее на другие места.

Принцип сохранения и обновления относится к сформированному береговому пространству. Периодически обновления требуют всё, и совсем не обязательно сносить и создавать с нуля. Обновлять можно элементы благоустройства, инженерные коммуникации, конструкции, но с сохранением основной стилистики пространства, если таковая имеется. Этот принцип включает в себя рациональную реконструкцию.

Принцип преемственности заключается в сохранении и использовании исторически-культурных традиций в функциональной и композиционной организации общественных пространств.

Принцип архитектурно-художественной выразительности и функционального разнообразия территории.

Для реализации научных принципов были разработаны практические рекомендации для решения поставленных задач развития и реконструкции исследуемой территории. На основе результатов натурного обследования территории и архитектурно-градостроительного анализа предлагается найти решение возникших проблем методом экспериментального проектирования.

Для проверки и апробирования научных результатов сделана экспериментальная проектная модель архитектурно-градостроительного развития ул. Симферопольской в г. Евпатории (рис. 6).

Территория, в отношении которой осуществляется подготовка проекта планировки территории, располагается в восточной части городского округа Евпатория. Проектируемая территория вытянута вдоль побережья Черного моря от начала улицы Лиманная и до ее конца. Общая площадь проектируемой территории составляет 17,64 га. Общая площадь зоны пляжей в границах проектируемой территории составляет 1,61 га.

Проведен анализ градостроительной ситуации и учтена необходимость гостей города в современном и комфортном временном жилье, которое могло бы

полностью обеспечивать их потребности и предоставлять дополнительные услуги, благодаря которым интересы каждой группы людей будут учтены.

Экспериментальным проектом заложено предложение по реконструкции жилой зоны на северной части исследуемой территории. Дома, которые расположены вдоль всей улицы Симферопольской, на сегодняшний день имеют эстетически непривлекательный вид. Помимо этого, дворовые пространства перегружены дополнительными хозяйственными постройками, которые закрывают вид на море, разрушают единый визуальный образ рассматриваемой улицы. Одна из основных проблем старых построек рассматриваемой улицы – устаревшая инфраструктура и технологии, которые не могут удовлетворить потребности современных туристов. Это ведет к низкому уровню комфорта отдыхающих, что в свою очередь может отразиться на репутации курорта и влиять на его конкурентоспособность.

Здания, находящиеся на южной части проектируемого участка по функции являются

жилимыми домами, а также гостевыми домами и гостиницами. Данные сооружения входят в санитарно-защитную зону территории, поэтому концепцией проекта предложен снос данных сооружений. Принятое решение освободит территорию для пляжного отдыха, а также даст возможность возведения новой пешеходной набережной.

Проектом предлагается разработка малоэтажной застройки. Блокированные жилые дома в 2 этажа с мансардами и террасами, с которых открывается вид на море. Главные фасады выходят на ул.Симферопольскую и формируют рядовую застройку улицы. Каждый дом имеет задний двор – участок, выходящий на ул.Лиманную.

Дизайн пространства улицы задает предпосылки для создания единого дизайн-кода улицы, который является важным элементом целостности ткани города. Идентичность поддерживается в материалах и объектах: мелкая, но не перегруженная детализировка, преимущество светлых тонов из натуральных материалов.



**Рис. 6.** Схема проектного генерального плана участка  
**Fig. 6.** Scheme of the master plan project

Одной из основных задач формирования генерального плана являлась организация пешеходных и транспортных связей на территории проектирования. Генеральный план разработан на основании градостроительного плана земельного участка. Участок застройки обеспечен подъездами, в том числе для пожарных машин. План застройки соответствует требованиям СП 42.13330.2016.

На проектируемой территории предлагается размещение локальных очистных сооружений. Данные сооружения предназначены для глубокой и полной очистки хозяйственно-бытовых жидких отходов, ливневых и любых других сточных вод.

На территории улицы Симферопольской необходимо размещение разнообразных площадок для тихого отдыха, которые обеспечат комфортное времяпровождения на пляжных территориях и вблизи них. Также предлагается осуществление демонтажа существующих навесов, которые загораживают панорамный вид на море. Целесообразно создание сети локальных площадей, которые акцентируют вид на впечатляющие водные просторы. Создание проектов новых коммерческих модулей, павильонов повысит экономическую эффективность набережной и увеличит количество ее посетителей. Новые объекты следует проектировать без перегрузки деталями, с преобладанием натуральных материалов и с использованием благородной природной цветовой гаммы.

Проектные решения предлагают вдохновиться историческим духом Евпатории, создав экспозиционные площадки для развития арт-направлений с вовлечением творческих сообществ. С этой целью предлагается создать сценическую площадку с амфитеатром для проведения праздничных и культурно-массовых мероприятий (фестивалей, ярмарок, мастер-классов, лекций, кинопоказов), а также сеть локальных площадей, на которых возможно установка арт-объектов от местных деятелей искусства.

## ВЫВОДЫ

В ходе исследования проведен анализ современного опыта реконструкции городских рекреационных зон и выделены общие направления преобразования прибрежных территорий:

1. развитие инфраструктуры пешеходного движения;
2. обеспечение доступной и безопасной среды «у воды»;
3. максимально возможная удаленность водных объектов от интенсивных транспортных потоков;
4. совершенствование «зеленой» инфраструктуры прибрежных территорий, путем формирования целостной, непрерывной структуры;
5. формирование в границе набережной многофункциональной системы, объединяющей рекреационные зоны и общественные пространства;

6. зонирование прибрежных территорий.

В результате комплексной оценки факторов, влияющих на организацию рекреационных зон прибрежных территорий были обобщены современные методы выделения рекреационных зон прибрежных территорий, выявлены принципы их формирования.

Проектной концепцией предусмотрено: создание полноценной набережной с благоустройством, снос ветхого, морально изношенного жилья и объектов общепита непривлекательного вида, создание современной малоэтажной блокированной застройки (рис. 6)..

В результате экспериментального проектирования доказана целесообразность внедрения архитектурно-градостроительных принципов и практических рекомендаций при реконструкции и развитии улицы Симферопольской в г. Евпатории. Проектная экспериментальная концепция может решить сложившиеся проблемы и вдохнуть виток развития исследуемого побережья Черного моря.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нефедов В. А. Ландшафтный дизайн и устойчивость среды / В. А. Нефедов. — Санкт-Петербург, 2002. — 295 с.
2. Калмыкова К.А. Благоустройство городских набережных / К.А. Калмыкова, О.В. Шкотова // Академическая публицистика. 2019. - №12. - С. 297-303
3. Сидорова В.В. Мировой опыт по градостроительному развитию приморских курортов / В.В. Сидорова, В.В. Маслий // Строительство и техногенная безопасность № 6 (58) 2017. – С.26-29
4. М.В. Савельев, Д.А. Киселева, Н.В. Бондарь, Ю.А.Пигин Принципы формирования городских общественных рекреационных зон набережных территорий // Вестник Томского государственного университета. Культурология и искусствоведение. – 2019. –№0 33. –С.173-188
5. 5 городов мира с лучшими современными набережными. Статья [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://archsovet.msk.ru/article/gorod/5-gorodov-mira-s-luchshimi-sovremennymi-naberezhnymi> (дата обращения 24.04.23)
6. Сидорова В.В. Развитие современных приморских набережных / В.В.Сидорова, О.В.Сокол // Строительство и техногенная безопасность: Науч.-техн. сборник. –Симферополь: НАПКС. – 2011. –Вып. 38. – С.13-21
7. Скобелева А.Ю. Принципы архитектурно-планировочной реконструкции городских набережных // Стратегия развития современной науки. 2017. С. 75-77
8. Сидорова В.В. Проблемы планировочной организации прибрежных территорий в условиях реконструкции курортов южного берега Крыма / Сидорова В.В. // Строительство и техногенная

безопасность: Сборник научных трудов. – Симферополь.: НАПКС. – 2010. – №31 – С. 22-30.

9. Сидорова В.В. К вопросу о градостроительной типологии приморских территорий на примере Большой Алушты / Сидорова В.В. // Современные проблемы архитектуры и градостроительства: Науч.-техн. сборник. –К.: КНУБА. – 2011.– Вып. 26 – С. 169-175.

10. Сидорова В.В. Градостроительная терминология применительно к приморским территориям, на примере Большой Алушты / Сидорова В.В. // Містобудування та територіальне планування: Науч.-техн. сборник. –К.: КНУБА.– 2011.–Вып. 39.– С. 348-352.

11. Большаков, А. Г. Принципы организации прибрежных территорий как экологического каркаса: диссертация доктора архитектуры: 18.00.01 / А. Г. Большаков. 2003.- 556 с.

12. Журбенко А.А. Интернет-портал «Ваш сад»: Реконструкция набережной в Жангжияганг. 2015 г. – URL: [http://www.vashsad.ua/landscape/design/interesting\\_plants/articles/show/9604](http://www.vashsad.ua/landscape/design/interesting_plants/articles/show/9604) / (дата обращения: 28.09.2020).

13. Егорова М.А. Координация экономической деятельности в российском правовом пространстве / Габов А.В., Егорова М.А., Могилевский С.Д. – Москва: Юстицинформ, 2015 г. - 656 с.

14. Benidorm Seafront от ОАВ. Волнистая «музыка» прибрежной инфраструктуры/ журнал Novate. Раздел архитектура. – Режим доступа к статье: <https://novate.ru/blogs/270510/14782/>

## REFERENCES

1. Nefedov V. A. Landscape design and environmental sustainability / V. A. Nefedov. — St. Petersburg, 2002. — 295 p.

2. Kalmykova K.A. and Shkotova O.V. "Improvement of city embankments" // Academic journalism. 2019. pp. 297-303

3. Sidorova V.V. World experience in urban development of seaside resorts / V.In Sidorova, V.V. Masliy // Construction and technogenic safety No6 (58) 2017. –pp.26-29

4. M.V. Savelyev, D.A. Kiseleva, N.V. Bondar, Yu.A.Pigin Principles of formation of urban public recreational zones of embankment territories // Bulletin

of Tomsk State University. Culturology and Art criticism.-2019. –No. 33. –pp.173-188

5. 5 cities in the world with the best modern embankments. Article[Electronic resource]: –Access mode: <https://archsovet.msk.ru/article/gorod/5-gorodov-mira-s-luchshimi-sovremennymi-naberezhnyimi> (accessed 24.04.23)

6. Sidorova V.V. Development of modern seaside embankments / V.V.Sidorova, O.V.Sokol //Construction and technogenic safety: Scientific and technical collection. –Simferopol: NAPKS. -2011. – Issue 38 –p.13-21

7. Skobeleva A.Yu. Principles of architectural and planning reconstruction of city embankments // Strategy of development of modern science. 2017. pp. 75-77

8. Sidorova V.V. Problems of planning organization of coastal territories in the conditions of reconstruction of resorts of the southern coast of Crimea / Sidorova V.V. // Construction and technogenic safety: Collection of scientific papers. –Simferopol.: NAPKS. -2010. – No31 –pp. 22-30.

9. Sidorova V.V. On the issue of urban typology of coastal territories on the example of Bolshaya Alushta / Sidorova V.V. // Modern problems of architecture game-building: Scientific and technical. collection. –K.: KNUBA.-2011.–Issue 26 –pp. 169-175.

10. Sidorova V.V. Urban planning terminology in relation to coastal territories, on the example of Bolshaya Alushta / Sidorova V.V. // Mistobuduvannya ta teritorialne planuvannya: Sci.-tech. collection. –K.: KNUBA.-2011.–Issue 39.–pp. 348-352.

11. Bolshakov, A. G. Principles of the organization of coastal territories as an ecological framework: dissertation. Doctor of Architecture: 18.00.01 / A. G. Bolshakov.

12. Zhurbenko A.A. Internet portal "Your garden": Reconstruction of the embankment in Zhangjiagang. 2015 – URL: [http://www.vashsad.ua/landscape/design/interesting\\_plants/articles/show/9604](http://www.vashsad.ua/landscape/design/interesting_plants/articles/show/9604) / (date of address: 09/28/2020).

13. Egorova M.A. Coordination of economic activity in the Russian legal space / Gabov A.V., Egorova M.A., Mogilevsky S.D. – Moscow: Justicinform, 2015 - 656 p.

14. Benidorm Seafront by OAB. Wavy “music” of coastal infrastructure / Novate magazine. Architecture section. – Article access mode: <https://novate.ru/blogs/270510/14782/>

## ARCHITECTURAL AND URBAN PLANNING DEVELOPMENT OF SIMFEROPOL STREET IN THE CITY OF EVPATORIYA

Sidorova V.V. <sup>1</sup>, Petislyamova M.T. <sup>2</sup>

V.I. Vernadsky Crimean Federal University,  
Institute "Academy of Construction and Architecture"  
181, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea 295493  
E-mail: <sup>1</sup>nucikBBC@yandex.ru, <sup>2</sup>mpt01@mail.ru

**Abstract.** The relevance of the development of Simferopolskaya Street in the city of Yevpatoria, Republic of Crimea, is due to the increased need to improve the quality of the coastal urban environment. Recently, the western part of the Crimean coast has been gaining increasing interest among tourists. One of the most popular tourist cities is Evpatoria. The main architectural and urban planning problems of the coastal zone in the area of the street have been identified. Simferopolskaya: obsolescence of low-rise residential buildings, unattractive aesthetic appearance of the facades of buildings and structures, lack of an embankment and comfortable landscaping of the territory. Currently, in the improvement of the territory under consideration, there is no single architectural style - a harmonious appearance of the street. The work analyzes theoretical and practical materials related to the object of research, and analyzes world analogues. Scientific principles and practical recommendations for the reconstruction of Simferopolskaya Street with the adjacent seaside area - the embankment and the beach - are proposed. To test the research results, an experimental design model was developed.

**Subject:** Reconstruction of the territory within the boundaries of Simferopolskaya Street in the city of Evpatoria, landscaping.

**Materials and methods:** During the study, an analysis of projects of world analogues was used. To identify the historical pattern of development of the territory, a comparative analysis of coastal territories of the Soviet period and at present is used. In the process of selecting materials on the topic of publication and analysis of the urban planning situation, the following methods were used: deduction, theoretical analysis and synthesis, the method of analogy, field surveys, photographic recording, critical and urban planning analysis, experimental design.

**Results:** To increase the duration of the holiday season and increase the attractiveness of the study area, the main indicators have been identified: the formation of an identifying architectural image of the coastal strip of Simferopolskaya Street in the city of Evpatoria, attracting investors to implement projects, expanding the scope of services provided to tourists.

It is proposed to apply the developed scientific principles for the development of the street and adjacent coastal areas:

- the principle of integrity of the structure of space;
- ecological principle;
- principle of investment attractiveness;
- the principle of increasing positive factors in the use and development of existing building functions and territory;
- the principle of preservation and renewal;
- the principle of continuity;
- the principle of architectural and artistic expressiveness and functional diversity.

The formation and transformation of urban public recreational zones of coastal areas must have a well-thought-out strategy for the systematic, phased implementation of work on the construction of facilities and improvement of coastal areas. To comply with the above principles, it is necessary to develop a strategy or concept for the development of the territory and adhere to it when reconstructing the territory.

**Conclusions:** Based on the results of the analysis of global and domestic design and reconstruction of embankments, current trends in the formation of urban recreational zones of coastal territories were identified, which should also be applied to the city of Evpatoria:

- 1) development of pedestrian traffic infrastructure through the development of the coastal strip as a system of pedestrian spaces in contact with the shoreline of water bodies;
- 2) the maximum possible distance of water bodies from intense traffic flows, giving preference to pedestrian spaces;
- 3) improvement of the green zone as an infrastructure of coastal areas, by forming an integral, continuous strip or islands of greenery;
- 4) the formation within the boundaries of coastal territories of a multifunctional system that unites recreational areas and public spaces, the interaction of pedestrian, green, and water infrastructures as a single whole;
- 5) development of coastal areas as complex objects of urban culture.

The practical application of the developed principles and recommendations embedded in the experimental design model - the concept of reconstruction of the seaside street of Simferopol in the city of Yevpatoria will contribute to the qualitative development of the urban environment.

**Key words:** street development, street reconstruction, embankment, coastal zone, urban environment, residential development.

## Раздел 2. Строительство

УДК 624.01

### ПРИМЕНЕНИЕ НЕИЗВЛЕКАЕМЫХ ТРУБЧАТЫХ ПУСТОТООБРАЗОВАТЕЛЕЙ И ЛЁГКИХ БЕТОНОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗДАНИЯ.

Пушкарев Б.А.<sup>1</sup>,

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского»,  
Институт «Академия строительства и архитектуры»,  
295493, Республика Крым, г. Симферополь, улица Киевская, 181.,  
e-mail: boris\_pushkarev@mail.ru

**Аннотация.** В статье приведены примеры зданий и сооружений, удачно и неудачно спроектированные и построенные, показаны характерные их особенности, проанализированы публикации, обосновывающие необходимость снижения веса конструкций; снижение расположения центра тяжести масс, применение конструктивных решений самого здания способных противодействовать сейсмическому воздействию. Приведен пример конструирования и расчёт двух вариантов конструкций двенадцатиэтажного жилого здания различной массы с применением тяжёлого и лёгкого бетонов и неизвлекаемых картонно-полиэтиленовых пустотообразователей круглого сечения диаметром 159 мм, как один из способов, направленного на снижение сейсмического воздействия. На основании выполненных исследований сделан вывод о целесообразности применения неизвлекаемых пустотообразователей в сочетании с лёгким бетоном для снижения массы железобетонных конструкций и тяжёлого бетона для снижения центра тяжести здания, и как следствие снижения сейсмического воздействия.

**Предмет исследования.** Предметом исследования является снижение массы железобетонных конструкций зданий и их центра тяжести, а также конструирование самого здания в сейсмических зонах.

**Материалы и методы.** Для снижения массы железобетонных конструкций выполнено конструирование каркаса и расчёт центра тяжести двенадцати этажного жилого дома в двух вариантах - первый вариант: применение тяжёлого железобетона полностью  $2,5 \text{ т/м}^3$  и сплошных плит перекрытия толщиной 22 см; второй вариант применение тяжёлого железобетона плотностью  $2,5 \text{ т/м}^3$  для перекрытия подвала и нижних четырёх этажей остальные верхние этажи с применением лёгкого железобетона плотностью  $1,7 \text{ т/м}^3$  и неизвлекаемых картонно-полиэтиленовых пустотообразователей диаметром 159 мм для плит перекрытия. Обоснованы возможность, целесообразность и применение конструирования здания по второму варианту.

**Результаты.**

- 1) Снижение центра тяжести здания на **16,3%**.
- 2) Снижение массы здания при сохранении нормативных нагрузок: **20,5%**.
- 3) Совокупное снижение массы железобетонных элементов **30,7%**.

**Выводы.** Предложенное конструирование монолитного двенадцатиэтажного жилого здания с применением тяжёлых бетонов на нижних этажах и лёгких бетонов в совокупности с неизвлекаемыми картонно-полиэтиленовыми трубчатыми пустотообразователями круглого сечения диаметром 159 мм на верхних этажах, обеспечивающее значительное снижение массы и центра тяжести здания является возможным и целесообразным способом для строительства в сейсмически опасных регионах.

**Ключевые слова:** конструирование, здание, лёгкие и тяжёлые бетоны, пустотообразователи.

## ВВЕДЕНИЕ

Сейсмическое воздействие на здания или сооружения по-прежнему является грозным природным явлением. С древних времён и по настоящее время люди искали способы возведения зданий и сооружений способных противодействовать сейсмическому воздействию. Примерами удачных способов могут служить формы пирамид народов Майя и Египта (рис.1 и (рис. 2), знаменитая Эйфелева башня (рис. 3), в Москве Останкинская телевышка (рис. 4), Кремлёвская башня (Рис. 5), здание МГУ (рис. 6). Объединяет все эти объекты конструктивное решение по снижению расположения их центра тяжести. Отрицательным примером конструирования зданий являются здания, подвергшиеся сильному сейсмическому воздействию на Тайване 21 сентября 1990 г., и хотя эти здания были изготовлены из высокопрочных материалов, катастрофы избежать им не удалось,

(рис. 7). Совсем недавно 6 февраля 2023 г. сильное землетрясение произошло в Турции магнитудой 7,8, принесшее большие разрушения и множество жертв (рис. 8).

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ.

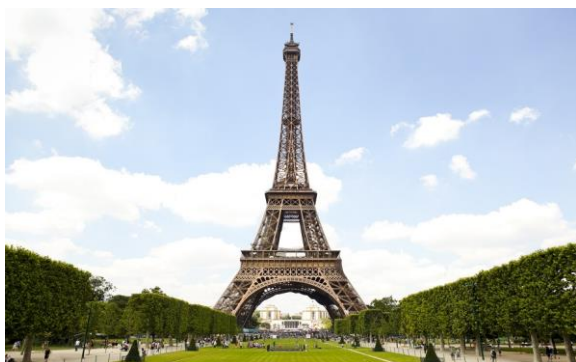
В последние годы исследователи много уделяют внимание проблеме снижения сейсмического воздействия на высотные здания и сооружения, примерами могут служить многочисленные статьи и изобретения, например: «Методы сейсмогашения, и сейсмоизоляции с применением специальных устройств», авторы М.А. Вискребенцева, Ву Ле Куен. Инженерный вестник Дона №1(2019) – в данной публикации рассмотрены методы сейсмогашения и сейсмоизоляции, отмечена необходимость изменения веса конструкций и их жёсткости.[1].



**Рис. 1.** Пирамида Майя  
**Fig. 1.** The Mayan Pyramid



**Рис. 2.** Пирамида Хеопса в Египте.  
**Fig. 2.** The Pyramid of Cheops in Egypt.



**Рис. 3.** Эйфелева башня в Париже.  
**Fig. 3.** Eiffel Tower in Paris.



**Рис. 4.** Останкинская телебашня в Москве.  
**Fig. 4.** Ostankino TV tower in Moscow.



**Рис. 5.** Спасская башня  
**Fig. 5.** Spasskaya Tower



**Рис. 6.** Здание МГУ.  
**Fig 6.** The Moscow State University building.



**Рис. 7.** Землетрясение на Тайване. 21 сентября 1990 года  
**Fig. 7.** Earthquake in Taiwan. September 21, 1990



**Рис. 8.** Землетрясение в Турции, 6 февраля 2023 года.  
**Fig 8.** Earthquake in Turkey, February 6, 2023.

В.А. Тарасов, М.Ю. Барановский, А.В. Редькин, Е.А. Соколов, А.С. Степанов. // Системы сейсмоизоляции, – Строительство уникальных зданий и сооружений, ISSN 2304-6295/ 4 (43)/ 11.7.2016 – 140 с. в аннотации статьи отмечено «Не всегда выгодно и рационально повышать сейсмостойкость строительных конструкций или фундаментов под оборудование путём простого повышения прочности, повышение прочности конструкций ведёт к увеличению их массы, повышению и, как следствие к увеличению инерционных сейсмических нагрузок [2]. «Инженерные методы по снижению сейсмического риска зданий и сооружений», автор Б.С. Ордобаев в статье Civil Security technology. Vol. 2013 No. 4 (38) – отмечает «Сейсмостойчивость объекта, прежде всего, зависит от его высоты, его веса в целом, конструктивной системы, которая принимает на себя сейсмическое воздействие - на сегодняшний день не существует технологии и строительного материала, которые на 100 % могли бы противостоять самому сильному землетрясению. Создавать инновационные технологии и материалы в сейсмостойком строительстве – задача учёных, инженеров и строителей»[3]. Результаты исследований в этом направлении отражены в работах [4÷14].

## ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью настоящего исследования является разработка способа снижения сейсмического воздействия на монолитные здания путём снижения веса здания и его центра тяжести. Для достижения цели поставлены следующие задачи: выполнение конструирования здания, применяя при этом тяжёлый и лёгкий бетоны а также неизвлекаемые трубчатые пустотообразователи круглого сечения [11],

## ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Требуется: определить величины снижения веса здания – вариант 1и центра тяжести облегчённого здания вариант 2 Ниже приводятся два варианта конструирования монолитного железобетонного двенадцати этажного жилого здания плюс техэтаж, размеры здания в плане 13,1×37.1 м, высота этажа 3 м, техэтажа 2 м, плюс 1 м ограждение кровли. Сетка колонн в плане здания принята 6×6м. Схема плана здания изображена на рисунке 9.

### Вариант №1

Рассчитываем массы элементов каждого этажа и заносим результаты в таблицу №1.

Этажи 1-12 + железобетонные элементы здания конструируем из тяжёлого бетона массой 2500 кг/м<sup>3</sup>, за исключением бетона ограждающей наружной стены по периметру здания, которая изготавливается из железобетона плотностью 1,2 т/м<sup>3</sup>. Плотность стяжки под полы принимаем 2,4

т/м<sup>3</sup>, полы паркетные, принимаем плотностью 0,6 т/м<sup>3</sup>.

Определяем площади элементов здания.

Ширина внутреннего периметра здания 12+0,5= 12,5 м.

Длина внутреннего периметра здания 36+0,5= 36,5 м.

Площадь ограниченная внутренним периметром здания оставляет: 36,5×12,5=456,25 м<sup>2</sup>.

Площадь сечения колонн здания 0,5×0,5×21=5,25. Здесь 0,5×0,5 = 0,25 м<sup>2</sup> размеры сечения колонны, 21 – количество колонн на этаже.

**Принимаем площадь лестничной клетки** с лестничными площадками, маршами и лифтами 73,5 м<sup>2</sup>

**Определяем площади перекрытий здания:**

**Площадь плиты перекрытия техэтажа:** 456,25 – 1,5 = **454,75м<sup>2</sup>** Здесь 456,25– внутренняя площадь этажа здания, 1,5 м<sup>2</sup> - площадь будки выхода на крышу.

**Площадь плиты перекрытия двенадцатого этажа:** 456,25 - 20-1,5 – 5,25=**429,5 м**. Здесь 456,25 – внутренняя площадь этажа здания, 20 площадь лифтовых шахт, 1,5 – площадь люка выхода на техэтаж, 5,25 площадь сечения колонн, **Площадь плит перекрытий 1÷11 этажей:** 456,25-73,5-5,25=**377,5 м<sup>2</sup>**. Здесь 73,5 – площадь лестничной клетки с лифтами, 5,25 площадь сечения колонн.

**Площадь плиты перекрытия подвала** 456,25 – 20=**436,25 м<sup>2</sup>**.

**Площадь полов лестничной клетки над подвалом** 20 м<sup>2</sup>.

**Колонны.** Объём колонны: = 0,5×0,5×3= 0,75 (м<sup>3</sup>) и тогда её масса составит 0,75 ×2,5 = **1,875 т**, здесь 3 высота этажа в метрах, 2,5 плотность железобетона. На этаж масса колонн составит 1,875×21=**39,375 (т)**, здесь 21 – общее количество колонн на этаже.

**Масса колонн техэтажа** составит 39,375:3×2=**26,25 т**, здесь 3 высота колонны этажей, 2 высота техэтажа.

**Ригели.** Определяем массу ригелей на этаж и техэтаж 0,5×0,23×5,5×2,5×32=**50,6**, здесь **0,5** ширина ригеля **0,23** толщина ригеля, **5,5** длина ригеля, **2,5** плотность железобетона, 32 количество ригелей на этаже.

**Масса мозаичного пола** под лестничной клеткой на первом этаже 20×0,4×2,4=1,92, здесь 20 площадь пола, 2,4 плотность мозаичного пола.

**Масса лестничной клетки** 1÷11 этажей при плотности железобетона 2,5 т/м<sup>3</sup> составит (73,5-20)×0,22×2,5=**29,425т**, здесь 73,5 общая площадь лестничных клеток на этаже, 0,22 толщина лестничных площадок и маршей, 20 – площадь лифтовых шахт.

**Масса плит перекрытия этажей.** **Масса плиты перекрытия техэтажа:** 454,75×0,22×2,5= **250,113т**, здесь 0,22 толщина сплошной плиты перекрытия, 2,5 масса одного м<sup>3</sup> железобетона. **Масса плиты перекрытия 12-го этажа.** 429,5×0,22× 2,5 =**236,225 т**. Здесь 429,5 – площадь плиты перекрытия

двенадцатого этажа. 0,22 толщина плиты перекрытия, 2,5 масса одного м<sup>3</sup> железобетона.

**Масса перекрытия жилых помещений 1÷11-го этажей**  $377,25 \times 0,22 \times 2,5 = 207,488$  т. Здесь 0,2 толщина сплошной плиты перекрытия этажа, 2,5 плотность железобетона плиты перекрытия в тоннах.

Масса перекрытия этажа над подвалом  $436,25 \times 0,22 \times 2,5 = 239,938$  т.

**Определяем массу стен лифтовой шахты на этаж**  $(\sqrt{5} \times 4 \times 3 - 2,6) \times 4 \times 0,2 \times 2,5 = 48,464$  т. Здесь  $\sqrt{5} = 2,236$  – длина одной стены лифтовой шахты в метрах, 4 количество лифтовых стен, 3 высота этажа здания, 2,6 – площадь двери лифта, 0,2 толщина стен лифта, 2,5 плотность железобетона.

**Масса стен лифтовой шахты техэтажа равна:**  $48,464 \times 3 \times 2 =$  т.

Цементная выравнивающая стяжка под паркетные полы двенадцатого этажа  $377,5 \times 0,03 \times 2,4 = 27,18$  (т).

**Мозаичные полы** по лестничным клеткам 1÷11 этажа  $(73,5 - 20) \times 0,04 \times 2,4 = 5,136$  т.

**Цементная** выравнивающая стяжка под паркетные полы на 1÷12 этажи  $0,03 \times 377,5 \times 2,4 = 27,18$  т.

**Объём паркета на** полы 1÷12 этажа  $377,5 \times 0,015 = 5,653$  т, и его масса при плотности паркета 0,6 т/м<sup>3</sup> равна  $5,653 \times 0,6 = 3,398$  т.

**Итого масса** полов двенадцатого этажа  $27,18 + 3,398 = 30,578$  т, здесь 27,18 цементная выравнивающая стяжка, 3,398 масса паркета,

**Итого масса** полов 1÷11 этажей равна  $27,18 + 3,398 + 5,136 = 35,714$  т, здесь 27,18 цементная выравнивающая стяжка, 3,398 масса паркета, 5,136 масса мозаичных полов по лестничным клеткам объёмным весом 2,4 т/м<sup>3</sup>.

**Утеплитель** керамзит толщиной 16 см с объёмным весом 400 кг/м<sup>3</sup> на техэтаже по перекрытию 12-го этажа,  $16 \times 0,4 \times 429,5 = 27,488$  (т). **Утеплитель** керамзит толщиной 0,12 м с объёмным весом 0,4 т/м<sup>3</sup> по перекрытию подвала  $436,25 \times 0,12 \times 0,4 = 20,94$  т.

× **Нормативные нагрузки** принимаем в соответствии с СП 20.13330.2011 ИН нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СН2.01.07 – 85\*.

На жилые помещения 1 ÷ 12 этажей  $377,5 \times 0,15 = 56,625$  т.

На техэтаж  $454,75 \times 0,7 = 31,833$  т.

На перегородки 1÷12 этажа  $377,5 \times 0,075 = 29,063$  т.

На лестничные клетки  $(73,5 - 20) \times 0,3 = 16,05$  т.

**Итого на двенадцатый этаж**  $56,625 + 29,063 = 85,688$ .

**Итого на 1÷11 этаж**  $56,625 + 29,063 + 16,05 = 101,738$  т.

**Масса диафрагм жёсткости на этаж с**

**1-го по 12-й этаж** равна  $3 \times 5,5 \times 0,15 \times 4 \times 2,5 = 24,75$  т. Здесь 3 м высота диафрагмы, 4 количество диафрагм жёсткости, 5,5 м – длина диафрагмы жёсткости, 0,15 м – толщина диафрагмы жёсткости; 2,5 т – железобетона в т/м<sup>3</sup>. **На техэтаж** принимаем

4 диафрагмы жёсткости две поперечных и две продольных высотой 2 м, общей массой  $24,75 : 3 \times 2 = 16,5$ , здесь 3 высота этажа, 2 высота техэтажа.

Кровля, включая: 1) керамзит толщиной 12 см плотностью 0,4 т/м<sup>3</sup> на кровле по перекрытию техэтажа  $456,25 \times 0,12 \times 0,4 = 21,9$  т. 2) Выравнивающая цементная стяжка толщиной 4 см  $0,04 \times 456,25 \times 2,4 = 43,8$  т. Покрытие три слоя рубероида РП-250 = 075 кг/м<sup>2</sup> и один слой РК-420, плюс битум 2 кг/м<sup>2</sup>, общий вес покрытия принимаем 4 кг/м<sup>2</sup> для всей кровли техэтажа здания  $0,004 \times (98 + 456,25) = 2,217$  т. Тогда **масса кровли техэтажа** составит:  $21,9 + 43,8 + 2,217 = 67,917$  т.

**Принимаем массу будки выхода на кровлю равной 4 т.**

Определяем длину наружных стен здания  $(37,1 + 12,5) \times 2 = 99,2$  м. Принимаем на этаж высоту наружных стен 3 м, толщину 0,2 м. Тогда объём наружных стен на этаж составит  $(0,2 \times 3 \times 99,2 - 1,8 \times 1,5 \times 0,2 \times 16) = 50,88$  м<sup>3</sup>. следовательно масса 1÷11 этажи наружных стен этажа с оконными проёмами в количестве 16 штук размером 1,8×1,5 м при массе одного м<sup>3</sup> железобетона 1,2 т составит:  $(50,88 \times 1,2) = 61,056$  т. Масса наружных стен техэтажа с 16-ю окнами размером 0,4×0,4 м при массе одного м<sup>3</sup> железобетона 1,2 т составит:  $(3 \times 99,2 - 0,4 \times 0,4 \times 16) \times 0,2 \times 1,2 = 70,81$  т.

Определяем массу лифтовых шахт на 1÷12 этаж. Принимаем площадь одного лифта 5 м<sup>2</sup>. **Масса стен лифтовой шахты** составит  $(\sqrt{5} \times 4 \times 3 - 2,6) \times 0,2 \times 2,5 \times 2,54 = 12,116$  т. Здесь  $\sqrt{5} = 2,236$  м – длина одной стены лифтовой шахты, 4 количество лифтовых стен, 3 высота этажа здания, 2,6 – площадь двери лифта, 0,2 – толщина стен лифта, 2,5 плотность железобетона в т/м<sup>3</sup>. на этаже принимается 4 лифта по два лифта на секцию здания. Масса стен лифтов на этаж составит  $12,116 \times 4 = 48,464$  т, в целом на здание  $48,464 \times 12 = 581,568$  т.

**Масса стен машинного отделения** лифтовой шахты на техэтаже при толщине стен машинного отделения 0,1 м составит  $12,116 : 3 \times 2 : 2 = 4,038$  т, здесь 12,116 масса лифтовой шахты для этажа здания, 3 высота лифтовой шахты этажа, 2 высота техэтажа, 2 уменьшение толщины машинного отделения до 0,1 м. Масса машинных отделений на этаж составит  $4,038 \times 4 = 16,152$  т.

Расчётные и нормативные нагрузки заносим в таблицу №1.

## Вариант №2

Массы железобетонных элементов для 1÷4 этажей и подвала, а также значения нормативных нагрузок, полов, утеплителей, наружных стен, принимаем аналогичными первому варианту и заносим их в таблицу №2. Массы железобетонных элементов расположенных выше четвёртого этажа определяем с учётом того, что применён лёгкий бетон плотностью 1,7 т/м<sup>3</sup>, а плиты перекрытий изготавливаются с применением неизвлекаемых картонно-полиэтиленовых пустотообразователей круглого сечения диаметром 159 мм [10].

Полученные расчётные результаты заносим в таблицу №2,

Определяем **массу колонн** на этаже и техэтаже. На этаже масса колонн составит  $0,5 \times 0,5 \times 3 \times 1,7 \times 21 = 26,778 \text{ т}$ . здесь  $(0,5 \times 0,5)$  площадь сечения колонны, 3 высота колонны, 1,7 плотность железобетона. На техэтаже при длине колонны 2 м, масса колонн составит  $26,778 : 3 \times 2 = 17,852 \text{ т}$ .

Определяем массу **ригелей** 5-12 этажей и техэтажа: **на этаж**  $1,7 \times 0,45 \times 0,5 \times 5,5 \times 32 = 67,32 \text{ т}$  здесь 1,7 плотность железобетона, 0,45 высота ригелей, 0,5 ширина ригеля, 5,5 длина ригеля, 32 количество ригелей на этаже и техэтаже.

**Масса диафрагм жёсткости** на этаж с 5-го по 12-й этаж равна  $3 \times 5,5 \times 0,15 \times 1,7 \times 4 = 16,83 \text{ (т)}$ . Здесь 3 – высота диафрагмы, 5,5 - длина диафрагмы жёсткости, 0,15 – толщина диафрагмы жёсткости, 1,7 - масса одного м<sup>3</sup> диафрагмы жёсткости в т/м<sup>3</sup>.

**На техэтаж** принимаем две продольные и две поперечные диафрагмы жёсткости, высота диафрагмы 2 метра, 5,5 длина диафрагмы жёсткости, 0,15 толщина диафрагмы жёсткости, 1,7 т/м<sup>3</sup> – плотность железобетона диафрагмы жёсткости. Тогда масса диафрагм жёсткости техэтажа равна  $2 \times 5,5 \times 0,15 \times 1,7 \times 4 = 11,22 \text{ (т)}$ .

Масса диафрагм жёсткости на 5÷12 этажи равна  $11,22 : 2 \times 3 = 16,83 \text{ т}$ , здесь 2 высота техэтажа, 3 высота этажей.

**Масса** стен лифтовой шахты для 1×4 этажей согласно первого варианта при толщине стен 0,2 м и высоте стен 3 м составляет 48,464 т, следовательно для остальных этажей масса лифтовых шахт на этаж равна  $48,464 : 2,5 \times 1,7 = 32,956 \text{ т}$ .

**Масса стен машинных помещений** лифтовых шахт на техэтаже при толщине стен машинного отделения 0,1 м составит  $32,956 : 2 : 3 \times 2 \times 1,7 = 10,985 \text{ т}$ .

**Массу пола** принимаем из 1-го варианта для двенадцатого этажа 32,484 т, для остальных этажей 35,714 т.

**Плиты перекрытия техэтажа и 5÷12 этажей** выполняем с применением круглых неизвлекаемых картонно-полиэтиленовых пустотообразователей диаметром 159 мм.

Определяем площадь перекрытия **техэтажа**  $456,25 - 1,5 - (0,5 \times 5,5 \times 32) = 366,75 \text{ м}^2$ , здесь 1,5 - площадь люка в будку выхода на кровлю,  $0,5 \times 5,5 \times 32 = 88 \text{ м}^2$  – площадь ригелей на этаже. Тогда масса перекрытия техэтажа равна:  $366,75 \times 0,12 \times 1,7 = 74,817 \text{ т}$ , здесь 0,12 приведенная толщина пустотной плиты перекрытия [8, стр 285], 1,7 масса одного м<sup>3</sup> железобетона.

**Двенадцатый этаж.** Определяем площадь и массу перекрытия 12-го этажа. Площадь перекрытия 12-го этажа равна  $456,25 - 1,5 - 5,25 - (0,5 \times 5,5 \times 32) = 361,5 \text{ м}^2$ . Здесь 456,25 – внутренняя

площадь этажа здания, 1,5 – площадь люка на техэтаже, 5,25 площадь сечения колонн,  $(0,5 \times 5,5 \times 32) = 88 \text{ м}^2$  площадь ригелей этажа. **Масса** перекрытия двенадцатого этажа составит  $361,5 \times 0,12 \times 1,7 = 73,746$ , здесь 1,7 масса одного м<sup>3</sup> железобетона.

**5÷11 этажи.** Определяем массу плит перекрытия жилых помещений этажа, для этого принимаем приведенную толщину плит перекрытий 0,12 м, и массу 1 м<sup>3</sup> железобетона плит перекрытия 1,7 т. Определяем площадь этажа жилых помещений здания с вычетом площади лестничных клеток, колонн, ригелей и лифтов  $\text{м}^2 - 456,25 - 73,5 - 5,25 - 88 - 20 = 269,5 \text{ м}^2$ . Тогда масса плит перекрытия этажей с 5 по 11 этаж равна  $269,5 : 1,2 \times 1,7 = 54,978 \text{ т}$ .

Масса лестничных клеток 5÷11 этажей при плотности железобетона 1,7 т/м<sup>3</sup> составит  $29,425 : 2,5 \times 1,7 = 20,009 \text{ т}$ , здесь 29,425 масса лестничных клеток из первого варианта при плотности железобетона 2,5 т, 1,7, принимаемая плотность железобетона для 5-11 этажей.

Полученные результаты заносим в таблицу №2 и рисунок №10.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы: 1) достигнуто снижение массы здания на  $(8065,9 - 6408,455) : 8065,9 \times 100 = 20,5\%$ .

Используя расчётные результаты таблицы №1, определяем центр тяжести здания в первом варианте. Для этого определяем половину массы здания первого варианта:  $8065,9 : 2 = 4032,95 \text{ т}$ . Масса подвала и шести этажей 3903,138 т и части седьмого этажа 129,812,07 т составят половину массы здания. Определяем размер части седьмого этажа:  $3 : 598,61 \times 129,812 = 0,65 \text{ м}$ . Здесь 3 высота этажа, 129,812 часть массы седьмого этажа, соответствующая центру тяжести. За нулевую отметку принимаем отметку низа перекрытия подвала. Тогда центр тяжести находится на высоте  $0,22 + 3 \times 6 + 0,65 = 18,87 \text{ м}$ . Здесь 0,22 толщина плиты перекрытия подвала, 0,65 м – часть седьмого этажа, 3 высота этажа, 6 - количество полных этажей.

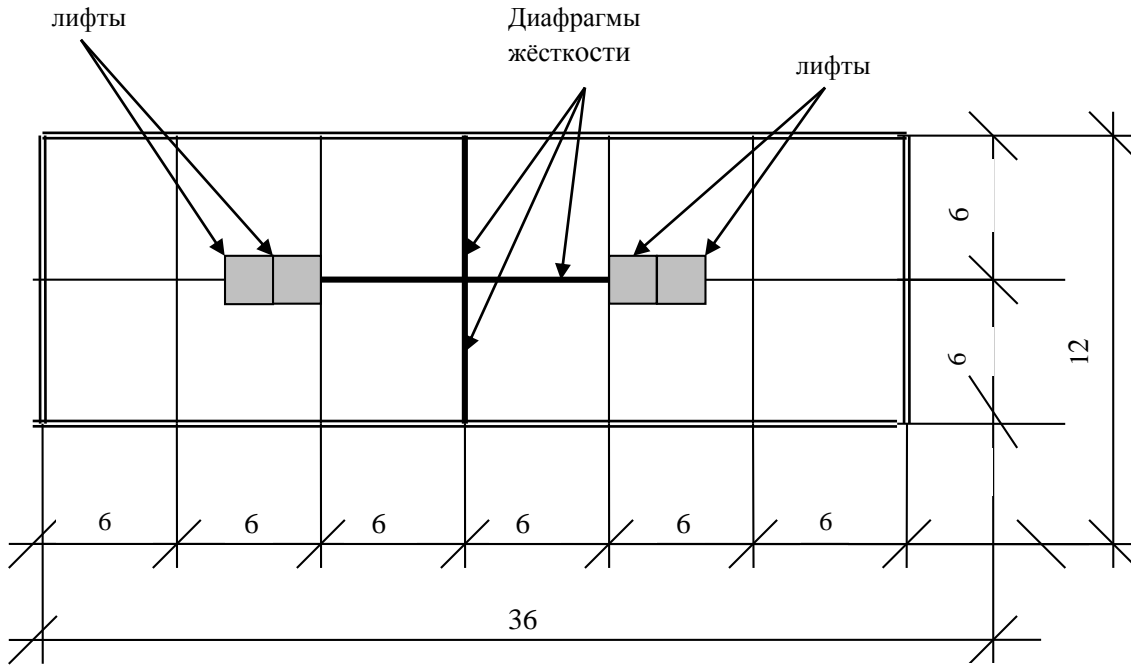
Таким же методом, пользуясь таблицей №2, находим центр тяжести здания сконструированного по второму варианту: масса половины здания равна:  $6408,45 : 2 = 3204,23 \text{ т}$ . В массу 3204,23 т входят масса подвала 290,538 т, плюс массы с первого по пятый этажи 2832,497 т, плюс часть массы шестого этажа 81,353 т. Высота части шестого этажа здания составляет  $3 : 427,117 \times 81,353 = 0,57 \text{ м}$ . Следовательно, центр тяжести здания находится на высоте  $0,22 + 3 \times 5 + 0,57 = 15,79 \text{ м}$ . Снижение центра тяжести здания составило  $18,87 - 15,79 = 3,08 \text{ м}$ , или,  $3,08 : 18,87 \times 100 = 16,3\%$

**Таблица №1.** Массы элементов здания по этажам в тоннах  
**Table № 1.** The mass of building elements by floor in tons

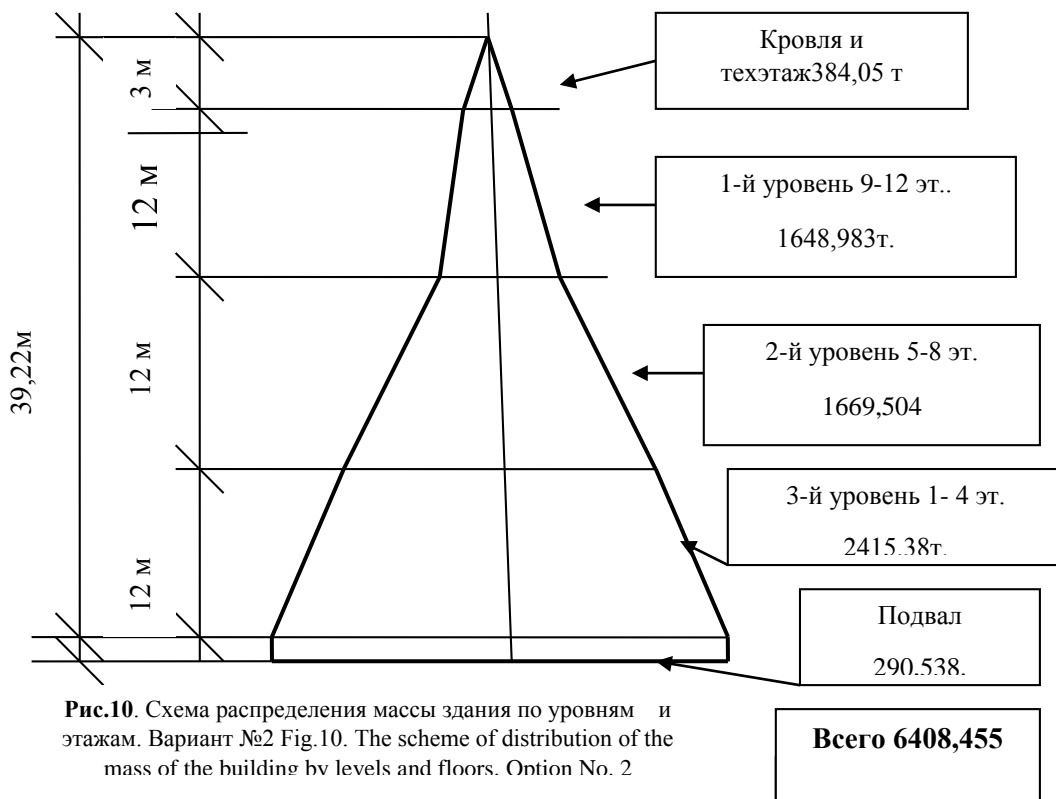
Этаж	Колонны	Ригели/и лестничные клетки, марши, и площадки	Перекрытие/Утеплитель 1-го этажа здания	Стены лифтовой шахты	Пол 1-12 этажей./ Диафрагмы жёсткости	Нормативная нагрузка / Будка выхода на крышу	Кровля и утеплитель этажа и 12-го этажа	Наружные, ограждающие стены здания	Масса этажа, Итого уровня
кровля						<b>4</b>	<b>67,917</b>		<b>71,917</b>
техэтаж	<b>26,25</b>	<b>50,6</b> <b>29,425</b>	<b>250,113</b>	<b>16,152</b>	<b>16,5</b>	<b>31,833</b>	<b>27, 48</b>	<b>70,81</b>	<b>519,171</b>
12	39,375	50,6	236,225	48,464	30,564 24,75	85,688		61,056	576,722
11	39,375	50,6 29,41	207,488	48,464	35,714 24,75	101,738		61,056	598,61
10	39,375	50,6 29,425	207,488	48,464	35,714 24,75	101,738		61,056	598,61
9	39,375	50,6 29,41	207,488	48,464	35,714 24,75	101,738		61,056	598,61
Итого	<b>157,5</b>	<b>290,675</b>	<b>858,689</b>	<b>193,856</b>	<b>236,706</b>	<b>390,902</b>		<b>244,224</b>	<b>2372,552</b>
8	39,375	50,6 29,41	207,488	48,464	35,714 24,75	101,738		61,056	598,61
7	39,375	50,6 29,41	207,488	48,464	35,714 24,75	101,738		61,056	598,61
6	39,375	50,6 229,423	207,488	48,464	35,714 24,75	101,738		61,056	598,61
5	39,375	50,6 29,41	207,488	48,464	35,714 24,75	101,738		61,056	598,61
Итого	<b>157,5</b>	<b>320,1</b>	<b>829,952</b>	<b>193,856</b>	<b>241,856</b>	<b>406,952</b>		<b>244,224</b>	<b>2394,44</b>
4	39,375	50,6 29,41	207,488	48,464	35,714 24,75	101,738		61,056	598,61
3	39,375	50,6, 29,41	207,488	48,464	35,714 24,75	101,738		61,056	598,61
2	39,375	50,6 29,41	207,488	48,464	35,714 24,75	101,738		61,056	598,61
1	39,375	50,6 29,41	207,488 20,94	48,464	37,634 24,75	101,738		61,056	619,55
Итого	<b>157,5</b>	<b>320,1</b>	<b>850,892</b>	<b>193,856</b>	<b>243,776</b>	<b>406,952</b>		<b>244,224</b>	<b>2417,3</b>
подвал		<b>50,6</b>	<b>239,938</b>						<b>290538</b>
Всего	498,75	1061,5	3029,584	597,724	738,838	1240,639	95,405	803.482	8065,9

**Таблица №2.** Массы элементов здания по этажам в тоннах  
**Table №2..** The mass of building elements by floor in tons

№ этажа	Колонны.	Ригели/лестничные клетки - марши и площадки	Перекрытие/Утеплители 1-го этажа	Стены шахты лифтов	Пол 1-12 этажей Диафрагмы жёсткости	Нормативная нагрузка. Будка выхода на крышу	Кровля Утеплитель техэтажа и 12-го этажа	Наружные, ограждающие стены	Масса этажа, Итого Уровня
<b>кровля</b>						<b>4</b>	<b>67,725</b>		<b>71,725</b>
<b>Тех этаж</b>	<b>17,852</b>	<b>67,32</b>	<b>74,817</b>	<b>10,985</b>	<b>11,22</b>	<b>31,833</b>	<b>27,488</b>	<b>70,81</b>	<b>312,325</b>
12	26,775	67,32	73,746	32,956	30,564 16,83	85,688		61,056	394,935
11	26,775	67,32 20,009	54,978	32,956	35,714 16,83	101,738		61,056	417,376
10	26,775	67,32 20,009	54,978	32,956	35,714 16,83	101,738		61,056	417,376
9	26,775	67,32 20,009	54,978	32,956	35,714 16,83	101,738		61,056	417,376
<b>Итого</b>	<b>107,1</b>	<b>329,307</b>	<b>238,68</b>	<b>131,824</b>	<b>205,026</b>	<b>390,902</b>		<b>244,224</b>	<b>1647,063</b>
8	26,775	67,32 20,009	54,978	32,956	35,714 16,83	101,738		61,056	417,376
7	26,775	67,32 20,009	54,978	32,956	35,714 16,83	101,738		61,056	417,376
6	26,775	67,32 20,009	54,978	32,956	35,714 16,83	101,738		61,056	417,376
5	26,775	67,32 20,009	54,978	32,956	35,714 16,83	101,738		61,056	417,376
<b>Итого</b>	<b>107,1</b>	<b>349,316</b>	<b>219,912</b>	<b>131,824</b>	<b>210,176</b>	<b>406,952</b>		<b>244,224</b>	<b>1669,504</b>
4	39,375	50,6 29,425	207,488	48,464	35,714 24,75	101,738		61,056	598,61
3	39,375	50,6 29,425	207,488	48,464	35,714 24,75	101,738		61,056	598,61
2	39,375	50,6 29,425	207,488	<b>48,464</b>	35,714 24,75	101,738		61,056	598,61
1	39,375	50,6 29,425	207,488 20,94	48,464	37,634 24,75	101,738		61,056	619,55
<b>Итого</b>	<b>157,5</b>	<b>320,1</b>	<b>850,892</b>	<b>193,856</b>	<b>243,776</b>	<b>406,952</b>		<b>244,224</b>	<b>2417,3</b>
подвал		<b>50,6/</b>	<b>239,938</b>						<b>290,538</b>
<b>Всего</b>	<b>389,525</b>	<b>1116,643</b>	<b>1624,239</b>	<b>468,484</b>	<b>670,198</b>	1240,639	<b>95,213</b>	<b>803,482</b>	<b>6408,45</b>



**Рис.9.**Схема здания с расположением диафрагм жёсткости и лифтов. Размеры указаны в метрах Fig.9. The diagram of the building with the location of the stiffening diaphragms and elevators. The dimensions are indicated in meters.



**Рис.10.** Схема распределения массы здания по уровням и этажам. Вариант №2 Fig.10. The scheme of distribution of the mass of the building by levels and floors. Option No. 2

**Таблица №3.** Расчёт снижения массы железобетонных элементов здания  
**Table №3.** Calculation of weight reduction of reinforced concrete building elements

Массы элементов	Масса Элементов (т) Вариант №1	Масса элементов Вариарт №2	Снижение массы
колонны	498,75	389,552	109,2
перекрытия	3029,584	1624,239	1405,345
Ригели	$50,6 \times 14 = 708,4$	$50,6 \times 5 + 67,32 \times 9 = 858,88$	-150,48
Диафрагмы Жёсткости	$24,75 \times 12 + 16,5 = 313,5$	$24,75 \times 4 + 16,83 \times 8 + 11,22 = 245,26$	68,24
Марши и площадки	$29,425 \times 11 = 323,675$	$20,009 \times 7 + 29,425 \times 4 = 257,763$	65,912
Итого	4873,909	3375,694	1498,2

В процентном выражении снижение массы железобетонных элементов здания составляет:  $1498,2:4873,9 \times 100 = 30,7\%$ .

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ.

Достигнуто 1) снижение массы здания на (8065,9-6408,455): $8065,9 \times 100 = 20,5\%$ ; 2) снижение расположения центра тяжести на 16,3 %; 3) Снижение массы железобетонных элементов на 30,7%. Предложенный способ снижения массы и центра тяжести здания является возможным и целесообразным для строительства в сейсмически опасных регионах.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Выскребенцева М.А., Куен Ву Ле. Методы сейсмогашения и самоизоляции с применением специальных устройств. / Выскребенцева М.А., Куен Ву Ле// Инженерный вестник Дона. №1(2019).

2. В.А. Тарасов, М.Ю. Барановский, А.В. Редькин, Е.А. Соколов, А.С. Степанов.// Системы сейсмоизоляции, – Строительство уникальных зданий и сооружений, ISSN 2304-6295/ 4 (43)/ 11.7.2016 – 140 с.

3. Ордобаев Б.С. Инженерные методы по снижению сейсмического риска зданий и сооружений/ Ордобаев Б.С.// Civil Security technology.- Vol. 2013 No. 4 (38).

4. Карапетян Б.К., Карапетян Н.К. Сейсмические воздействия на здания и сооружения / Карапетян Б.К., Карапетян Н.К.– М.: Наука, 1978. 159 с.

5. Нуриева Д.М. Расчёт каркасных зданий на сейсмические воздействия: Учебно-методическое пособие для студентов строительных специальностей и направлений подготовки 08.03.01, 08.05.01 / Нуриева Д.М. – Казань: Изд-во Казанск. Гос. Архитект.-строит. Ун-та, 2018. - 63 с.

6. К.К.Шевцов.// Проектирование зданий с особыми природно-климатическими условиями. Учеб. пособие для студентов вузов по

специальности «ПГС» М.: Высшая школа, 1986 – 232 с.

7. СП. 20. 13330.2011 /Нагрузки и воздействия. Актуальная редакция СНиП Нагрузки и воздействия 2.01.07-85\*. Таблица 8.3.

8. Байков В.Н. Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. общий курс: учебник. М.: Стройиздат, 1991. - 630 с.

9. Мельчаков Д.В. Пустотообразующий элемент несъёмной опалубки для железобетонных многпустотных плитных конструкций». // Патент RU 2601883 С1. 20.11. 2015.

10. Фебра А. Ф. «Закладной формовочный элемент для изготовления плоских железобетонных плит». // Патент RU 2242360 С2. 29.062000.

11. Пушкарев Б.А. Способ изготовления монолитных железобетонных опирающихся по контуру пустотных плит перекрытий с применением неизвлекаемых трубчатых картонно-полиэтиленовых пустотообразователей // Патент RU №2664087. 15.08.18.

12. Котенков И.А. (ВУ) Многупустотная железобетонная плита перекрытия // Патент ВУ № 7667 U 2011.10.30.

13. Монолитные пустотные перекрытия. /Обсуждение новой технологии, опыт применения. [www.proektant.org](http://www.proektant.org) <СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФОРУМ > конструкции железобетонные.

14. Бойко В.Е., Ерёменко В.А.//Расчёт и подбор составов лёгких бетонов Практическое пособие / Бойко В.Е., Ерёменко В.А. – Киев.: Издательство «Будівельник – 1974. – 159 с.

### REFERENCES

1. Vyskrebentseva M.A., Kuen Wu Le. //Methods of seismic suppression and self-isolation using special devices. / Vyskrebentseva M.A., Kuen Wu Le – Engineering Bulletin of the Don. No. 1(2019).

2. V.A. Tarasov, M.Y. Baranovsky, A.V. Redkin, E.A. Sokolov, A.S. Stepanov.// Seismic insulation

systems, – Construction of unique buildings and structures, ISSN 2304-6295/ 4 (43)/ 11.7.2016 – 140 p.

3. Ordobaev B.S. //Engineering methods to reduce the seismic risk of buildings and structures, / Ordobaev B.S. – Civil Security technology. Vol. 2013 No. 4 (38).

4. Karapetyan B.K., Karapetyan N.K.//. Seismic effects on buildings and structures / Karapetyan B.K., Karapetyan N.K. – M.: Nauka, 1978. 159 p.

5. Nurieva D.M. Calculation of frame buildings for seismic effects: An educational and methodological guide for students of construction specialties and training areas 08.03.01, 08.05.01 / D.M. Nurieva – Kazan: Publishing House of the Kazan State University. The architect.- He's building. Unita, 2018. - 63 p.

6. K.K. Shevtsov.// Design of buildings with special natural and climatic conditions. Textbook for university students in the specialty "PGS" Moscow "HIGHER SCHOOL" 1986 – 2320. 13330.2011.

7. SP. 20. 13330.2011 /Loads and impacts. The current version of the SNiP Load and impact 2.01.07-85\*. Table 8.3.

8. Baykov V.N. Sigalov E.E. Reinforced concrete structures. general course: textbook. M.: Stroyizdat, 1991. - 630 p.

9. Melchakov D.V. Void-forming element of non-removable formwork for reinforced concrete multi-hollow slab structures // Patent for invention RU 2601883 C1. 11/20/2015.

10. Febra A. F. Embedded molding element for the manufacture of flat reinforced concrete slabs // Patent for invention RU 2242360 C2. 06/29/2000.

11. Pushkarev B.A. A method for manufacturing monolithic reinforced concrete hollow floor slabs based on the contour using non-removable tubular cardboard-polyethylene voids // Patent RU No.2664087. 08/15/18.

12. Kotenkov I.A. (BY) Multi-hollow reinforced concrete floor slab // Patent BY No. 7667 U 2011.10.30.

13. Monolithic hollow floors. /Discussion of new technology, application experience. www.proektant.oro <CONSTRUCTION FORUM > reinforced concrete structures.

14. Boyko V.E., Eremenko V.A.//Calculation and selection of light concrete compositions A practical guide / Boyko V.E., Eremenko V.A. – Kiev.: Budivelnik Publishing House – 1974. – 159 p.

## APPLICATION OF NON-REMOVABLE TUBULAR COLLECTORS AND LIGHT-WEIGHT CONCRETE FOR REDUCING THE WEIGHT OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES AS ONE OF THE WAYS TO REDUCE THE SEISMIC IMPACT ON HIGH-RISE BUILDINGS.

Pushkarev B.A

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Institute "Academy of Construction and Architecture"  
181, Kievskaya str., Simferopol, 295050, Russian Federation  
e-mail: boris\_pushkarev@mail.ru

**Annotation.** The article gives examples of buildings and structures, successfully and unsuccessfully designed and built, shows their characteristic features, analyzes publications that justify the need to reduce the weight of structures; reducing the location of the center of gravity of the masses, the use of constructive solutions of the building itself capable of counteracting seismic effects. An example of the design and calculation of two design options for a twelve-story residential building of various weights using heavy and lightweight concrete and non-removable cardboard-polyethylene void formers with a circular cross section with a diameter of 159 mm is given as one of the methods aimed at reducing seismic impact. Based on the studies performed, it was concluded that it is expedient to use non-removable void formers in combination with lightweight concrete to reduce the mass of reinforced concrete structures and heavy concrete to reduce the center of gravity of the building, and as a result, reduce the seismic impact.

**Subject of study.** The subject of the study is to reduce the mass of reinforced concrete structures of high-rise buildings and their center of gravity, as well as the construction of the building itself in seismic zones.

**Materials and methods.** To reduce the mass of reinforced concrete structures, the frame was designed and the center of gravity of a twelve-story residential building was calculated in two options - the first option: the use of heavy reinforced concrete completely 2.5 t/m<sup>3</sup> and solid floor slabs 22 cm thick; the second option is the use of heavy reinforced concrete with a density of 2.5 t/m<sup>3</sup> to cover the basement and the lower four floors, the rest of the upper floors using light reinforced concrete with a density of 1.7 t/m<sup>3</sup> and non-removable cardboard-polyethylene void formers with a diameter of 159 mm for floor slabs. The possibility, expediency and application of building design according to the second option are substantiated.

### Results.

- 1) Reducing the center of gravity of the building by 16.3%.
- 2) Reducing the mass of the building while maintaining the standard loads: 20.5%.
- 3) The cumulative reduction in the mass of reinforced concrete elements is 30.7%.

**Conclusions.** The proposed design of a monolithic twelve-story residential building using heavy concrete on the lower floors and lightweight concrete in combination with non-removable cardboard-polyethylene tubular hollow formers of circular cross section with a diameter of 159 mm on the upper floors, providing a significant reduction in the mass and center of gravity of the building, is a possible and expedient way to build in seismically dangerous regions.

**Key words:** construction, building, light and heavy concretes, void formers.

УДК 62-758.34

РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ  
РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ И КАМНЕПЕРЕРАБОТКИГургенян<sup>1</sup> Н.В., Князян<sup>2</sup> Н.Б.

<sup>1,2</sup>Институт общей и неорганической химии им. М.Г. Манвеляна НАН Республика Армения  
0051, Ереван, ул. Аргутяна, пер. II, д. 10,  
e-mail: -gurnelius49@gmail.com

**Аннотация.** Актуальность темы исследования заключается в том, что в настоящее время существует устойчивая тенденция наращивания количества электромагнитных излучений (ЭМИ), возникающих в среде обитания человека, что отрицательно влияет на здоровую обстановку внутри помещений и определяет направленность экспериментальных исследований на защиту человека от опасных для здоровья факторов. Статья посвящена возможности создания радиозащитных строительных материалов из техногенных отходов различных месторождений Армении. Исследования направлены на создание комфортной зоны обитания внутри зданий посредством разработки радиозащитных материалов типа «сэндвич», уменьшающих влияние ЭМИ на здоровье человека. Работы велись в направлении разработки образцов радиопоглощающих структур и выбора радиопоглощающих наполнителей. В лаборатории получены образцы из отходов камнепереработки и отходов добычи рудных минералов плотностью от-1500 до 2000 кг/м<sup>3</sup>, а также образцы на основе вспученного перлита и минеральной связки плотностью 250-300 кг/м<sup>3</sup> в качестве внутреннего теплоизолирующего слоя и переданы в Национальную научную лабораторию им. А.И. Алиханяна (ереванский институт физики) для протонного облучения. Образцы подверглись протонному облучению, т.к. оно является составной частью космических излучений, а также ЭМИ и способно проникать через слои вещества в зависимости от его состава и свойств. Исследованы также некоторые физико-механические свойства полученных материалов такие, как прочность при сжатии и водопоглощение. Помимо этого, статья содержит обзор зарубежного опыта получения радиозащитных материалов с различными видами облучения. На данном этапе изучено только протонное облучение, однако работы в этом направлении продолжаются.

**Предмет исследования:** разработка радиозащитных материалов типа «сэндвич».

**Материалы и методы:** использованы отходы алюмосиликатных горных пород (туфов) и отходы добычи рудных минералов. Использован метод протонного облучения полученных материалов.

**Результаты:** разработаны радиозащитные материалы понижающие ЭМИ.

**Выводы:** подтверждена возможность получения радиозащитных материалов введением в состав композитного материала отходов добычи рудных минералов. Понижен уровень загрязнения окружающей среды путем использования отходов добычи рудных и нерудных минералов.

**Ключевые слова:** радиопоглощающий материал, рудные минералы, электромагнитное излучение, протонирование.

## ВВЕДЕНИЕ

Существует устойчивая тенденция наращивания количества излучающих технических средств, увеличения их энергетических потенциалов и территориальной концентрации. Растущее количество ЭМИ, возникающих в среде обитания человека и в первую очередь внутри зданий, определяет актуальность экспериментальных исследований, направленных на защиту человека от опасных для здоровья факторов. С точки зрения экологии, ЭМИ – это один из видов энергетического загрязнения окружающей среды и Всемирная организация здравоохранения уже определила электромагнитный смог как одну из 4-х главных составляющих при загрязнении окружающей среды [1,2].

Современные дома и здания будущего должны защищать своих обитателей от электромагнитной опасности, и при их сооружении должны применяться такие материалы и конструктивные решения, которые позволят снизить уровень электромагнитных полей (ЭМП) до необходимого минимума в границах защищаемого объекта и обеспечить нормальную жизнедеятельность людей.

Сегодня, естественный электромагнитный фон Земли превышен в тысячи раз. Основной защитой внутреннего пространства зданий является ослабление каналов просачивания электромагнитной энергии, в защищаемый объем, извне.

Основными механизмами защиты от ЭМП являются отражение, поглощение и многократное отражение.

При защите зданий от внешних ЭМИ могут применяться различные радиотражающие экранирующие материалы и радиопоглощающие строительные и отделочные материалы, которые должны удовлетворять комплексу необходимых радиотехнических, механических, гигиенических, технологических и эстетических требований [3].

В этой связи особо актуальной становится разработка радиозащитных материалов для решения экологических вопросов защиты среды обитания человека.

Для защиты имеют значение две характеристики радиозащитных материалов: за экраном - сквозное затухание; перед экраном - отражение от поверхности материала. Сквозное затухание обусловлено тепловыми потерями в толщине материала (зависящими от частоты ЭМИ и толщины экрана). Отражение обусловлено в

основном несоответствием волновых характеристик воздуха и материала, из которого изготовлен экран.

Целью работы является разработка композиционных материалов строительного назначения, способных обеспечить предельно допустимый уровень биологической защиты человека в жилых и производственных зданиях.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В данной работе проанализирована научно-исследовательская литература по данной теме.

В статьях [1-3] разработаны композиционные радиозащитные материалы (РЗМ) различного назначения.

В работе [4] дается обзор композиционных материалов, сочетающих звукозащитные и радиозащитные свойства. Для создания эффективных РЗМ необходимо совмещение в одной матрице радио-и звукозащитных свойств.

В работе [5] приведены примеры традиционных и современных радиационно-защитных материалов, способных обеспечить необходимый уровень биологической защиты и выполнение современных требований норм радиационной безопасности.

Приведены примеры композиционных материалов, используемых в качестве строительного радиационно-защитного материала. Приведены некоторые характеристики композиционного материала на основе алюминиевой матрицы и железосодержащих наполнителей.

В работе [6] представлены результаты выбора эффективных элементов для защиты от ионизирующего излучения, предложены составы радиационно-защитных материалов для ослабления различных видов излучения. Установлены зависимости эффективности ослабления излучения жидкостекольным композитом от характеристик вяжущего и его содержания в системе. Сформулированы основные принципы создания радиационно-защитных композитов.

В работе [7] проведены исследования по применению наночастиц магнетита в качестве добавок в структуру композиционных материалов для повышения экранирующих свойств от СВЧ излучения. Выявлена оптимальная концентрация добавок наночастиц магнетита для цементного композита с достижением максимального экранирования СВЧ излучения.

В работах [8,9] представлены данные о составе современных композиционных строительных материалов, в том числе материалов, которые помимо высоких физико-механических свойств обладают радиозащитными свойствами. В статье представлены инфракрасные исследования и дифференциально-термические данные мелкозернистых магнетитовых и гематитовых обогащенных железорудных концентратов. Осуществлен выбор наиболее подходящего наполнителя для проектирования и разработки новых композиционных радиозащитных

строительных материалов. Представлены также данные по магнетиту и гематиту. Установлено, что модифицированный железосодержащий композиционный материал на основе гематита и металлического алюминия сохраняет стабильность основных физико-механических свойств под действием потока быстрых электронов.

В работа [10] посвящена обсуждению необходимости и возможности создания радиопоглощающих материалов, эффективных в диапазонах частот наиболее распространенных базовых станций сотовой связи, на основе отделочных строительных материалов.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для придания облицовочным материалам экранирующих и радиопоглощающих свойств в состав разрабатываемых материалов введены компоненты, в которых происходит отражение и поглощение электромагнитных волн (ЭМВ). Введение металлических элементов может обеспечить экранирование только за счет отражения ЭМВ, что приводит к переотражению от стен зданий и возможному фокусированию лучей отраженной волны в определенных точках. Введением же элементов поглощающих электромагнитную энергию, возможно обеспечение уменьшения энергии излучения за счет ее затухания в слое материала. При исследованиях были использованы нижеприведенные рудные минералы различных месторождений Армении:

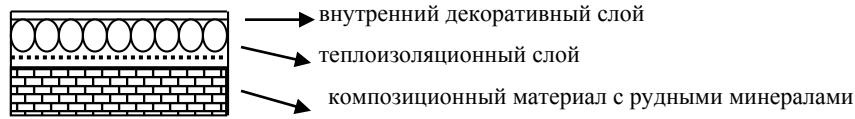
рудные минералы Каджаранского месторождения:  
халькопирит -  $\text{CuFeS}_2$   
пирит -  $\text{FeS}_2$   
молибденит -  $\text{MoS}_2$   
монзонит + кварц -  $\text{SiO}_2 + \text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8) + \text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$   
монзонит -  $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8) + \text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$   
сотское месторождение золота-сфалерит -  $\text{ZnS}$   
шоржинское месторождение - серпентин  $\text{Mg}_6(\text{OH})_8(\text{Si}_4\text{O}_{10})$  - группа минералов подкласса слоистых силикатов  
шамшадинское месторождение - барит -  $\text{BaSO}_4$

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

На сегодняшний день в области радиационно-защитного материаловедения используются такие традиционные материалы как: железосодержащие и вольфрамсодержащие (ослабляют потоки фотонного излучения); свинецсодержащие (ослабляют фотонное излучение); боросодержащие (поглощают тепловые нейтроны); тяжелые и серпентинитовые бетоны (наиболее широко распространенный строительный радиационно-защитный материал); гидриды металлов [4]. Нами для решения вышеуказанной проблемы разработаны композиционные облицовочные материалы типа сэндвич-плит на основе отходов туфа арктического месторождения, вспученного

перлита, комбинированной связки и рудных минералов, которые могут использоваться в качестве радиозащитного наполнителя и

способствовать отражению - поглощению электромагнитных волн, исходящих от источников с повышенными значениями ЭМИ (рис.1).



**Рис. 1.** Схема облицовочного материала с внутренней теплоизоляцией:

1 – внутренний декоративный слой

2 – теплоизоляционный материал

3 – композиционный материал с рудными минералами

**Fig.1.** Scheme of facing material with internal thermal insulation:

1 – internal decorative layer

2 – thermal insulation material

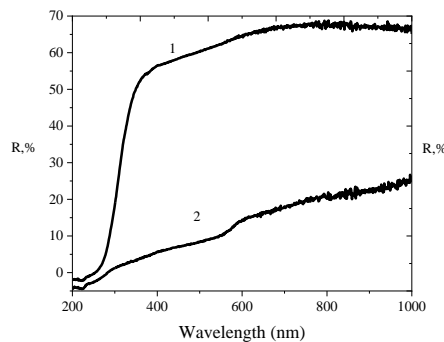
3 – composite material with ore minerals

В качестве вяжущего материала во всех трех слоях использовалась связка на основе жидкого стекла. Одним из вяжущих, применение которых целесообразно для изготовления строительных материалов для защиты от радиации, является жидкое стекло, которое является наиболее распространенным диэлектриком. Обычно в качестве порошкообразных наполнителей радиозащитных конструкций широкое применение находят материалы с магнитными свойствами и высокой электропроводностью [5,6]. В нашем

случае это отходы рудной промышленности. Средний теплоизоляционный слой представляет собой композитный материал на основе жидкого стекла и вспученного перлита со средней плотностью порядка 250-300кг/м<sup>3</sup>.

Для определения коэффициентов отражения-поглощения подготовлены образцы на основе туфа без добавления рудных минералов и образец из вспученного перлита. Измерения проведены в ереванском институте физики.

Полученные данные представлены на рис.2.



**Рис 2.** Зависимость коэффициентов отражения и поглощения от длины волны до протонирования: 1 образец со вспученным перлитом –поглощение; 2 – образец а основе туфа без рудного минерала – отражение

**Fig.2.** Dependence of reflection and absorption coefficients on wavelength before protonation: 1 – sample with expanded pearlite – absorption; 2 – sample based on tuff without ore mineral – reflection

Как видно из рис.2 образец без рудного минерала имеет коэффициент отражения приблизительно порядка 25%. Материал на основе вспученного перлита поглощает до 70 % излучения.

Основным преимуществом радиопоглощающих материалов (РПМ) с пониженной плотностью и малыми значениями относительной диэлектрической проницаемости является возможность обеспечения минимальных значений отражения падающей электромагнитной волны от поверхностного слоя материала, способных поглощать ЭМИ и преобразовывать его в тепло.

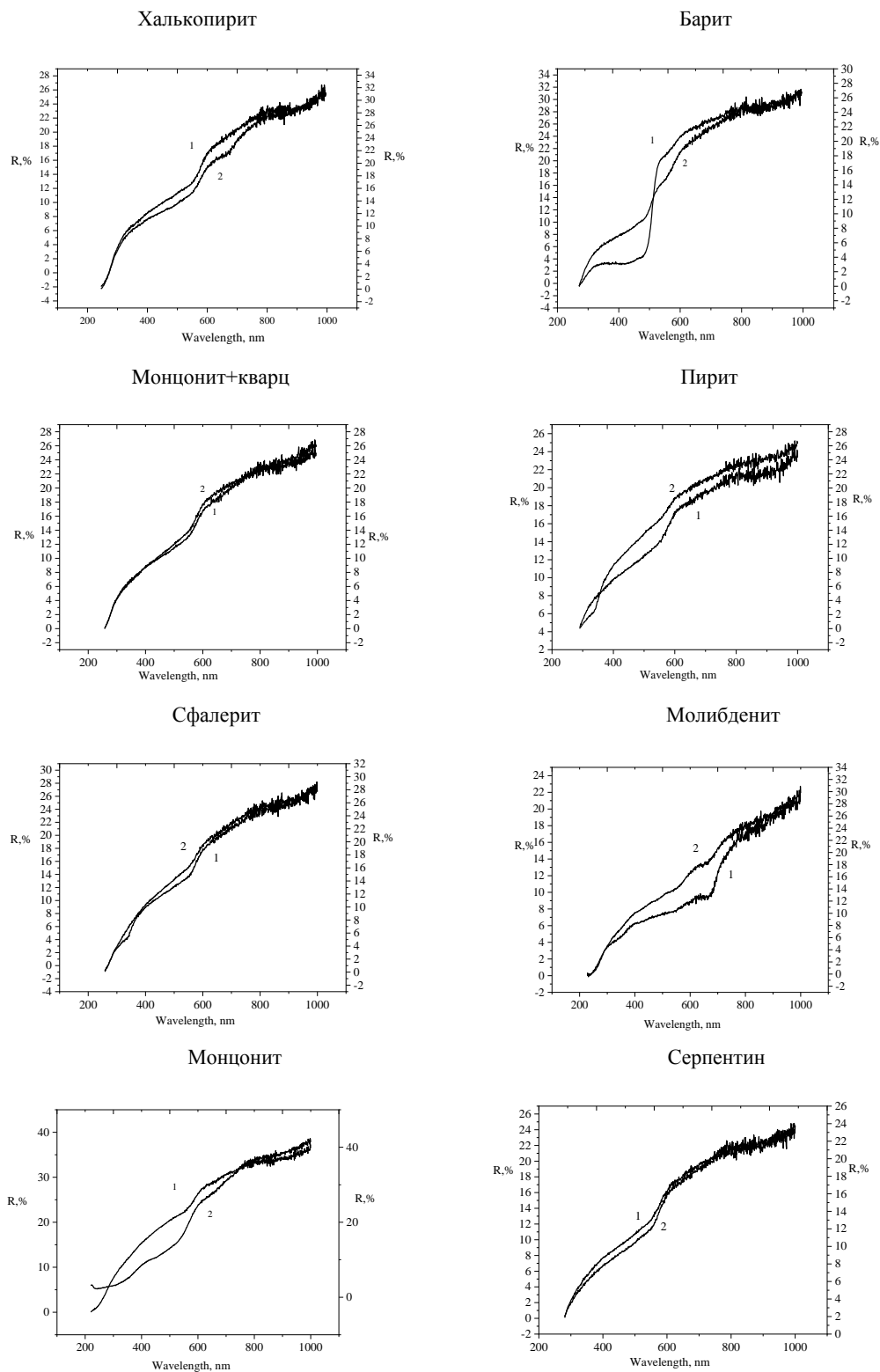
При добыче минерального сырья извлекается большое количество вскрышных и вмещающих пород, которые практически не используются, а складировать в отвалы, ухудшая состояние окружающей среды за счет сокращения количества

земель, пригодных для сельскохозяйственного использования, загрязнения почвенный покров, поверхностные и подземные воды, атмосферу, а следовательно, и условия жизни людей на прилегающих территориях. Наиболее эффективным решением проблемы использования отходов горнодобывающих предприятий как рудных, так и нерудных является внедрение безотходных технологий, т.е. утилизация отходов.

В связи с этим была поставлена задача утилизации отходов в качестве вторсырья для получения радиозащитных композиционных материалов строительного назначения, используя отходы рудных материалов в качестве компонентов, способных поглощать ЭМИ (используемые рудные минералы приведены выше).

Как известно, протонное излучение - основная составная часть космических излучений. Биологическое его действие при остром облучении аналогично действию  $\gamma$ - или рентгеновского излучений. Способность протонного излучения проникать через слои вещества зависит от свойств вещества и энергии пучка протонов.

Для определения радиозащитных свойств в лаборатории получены образцы со средней плотностью от 1500 до 1550 кг/м<sup>3</sup> и толщиной 1.0 мм и определены их коэффициенты отражения. Полученные значения представлены ниже в виде графиков, где показаны данные до и после протонного облучения (рис.3).



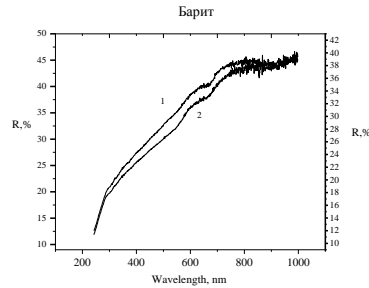
**Рис.3.** Коэффициенты отражения до (1) и после (2) протонного облучения  
**Fig.3.** Reflection coefficients before (1) and after (2) proton irradiation

Полученные данные свидетельствуют о том, что коэффициенты отражения относительно невысокие и протонирование слабо влияет на свойства материала. Отражение ЭМИ при использовании проводящих экранов довольно часто оказывает отрицательное влияние на окружающие объекты, связанное с формированием переотражённой волны. Поэтому особое внимание было уделено разработке композиционных материалов,

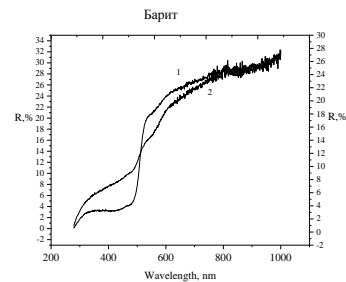
эффективность которых достигается за счет поглощения электромагнитных излучений [7,8].

В связи с этим были подготовлены образцы с повышенной плотностью от 1800 до 2000кг/м<sup>3</sup> с высотой 5мм и определены коэффициенты поглощения в вышеуказанных условиях.

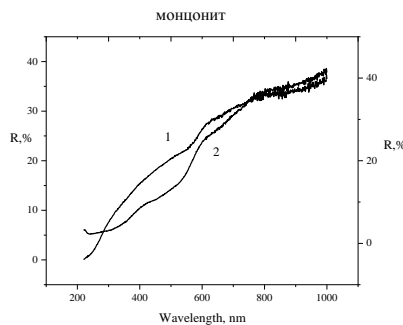
Из полученных образцов выбраны образцы с содержанием барита и монцонита и определены их коэффициенты отражения и поглощения. Ниже приводятся полученные графики (рис.4).



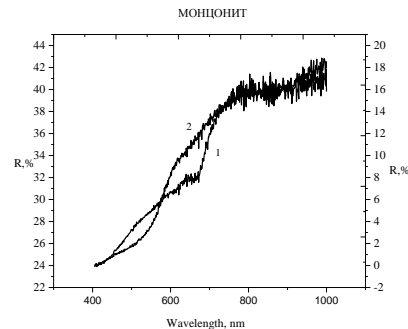
Барит: поглощение  
1- образец до протонирования  
2- после протонирования



Барит: отражение  
1- образец до протонирования  
2- после протонирования



Монцонит: поглощение  
1- образец до протонирования  
2- после протонирования



Монцонит : отражение  
1- образец до протонирования  
2- после протонирования

**Рис.4.** Коэффициенты отражения и поглощения до (1) и после (2) протонного облучения  
**Fig.4.** Reflectance and absorption coefficients before (1) and after (2) proton irradiation

Таким образом, композиционные материалы на основе рудных и нерудных минералов характеризуются одновременным проявлением как рассеяния, так и поглощения[9,10].

Как было сказано выше, образец без рудного минерала имеет коэффициент отражения порядка 25%, а с рудным минералом, в частности, из барита и монцонита имеют коэффициенты до 45%: монцонит-42, барит – 31% .

Одновременно, указанные образцы имеют также коэффициенты поглощения равные: монцонит - 40% и барит – 45%. Т.е. при прохождении через исследуемый материал излучение убывает на 76-82% (отражается и поглощается материалом). Затем следует теплоизоляционный слой (материал на

основе вспученного перлита), поглощение которого составляет до 70 % излучения.

Таким образом, уменьшение энергии ЭВМ при ее прохождении через стену здания происходит частично из-за ее отражения от стены, частично из-за поглощения. Следовательно, разработанные материалы практически являются радиозащитными. Так как целью работы была разработка сэндвич-плиты, то последний третий слой может быть либо из того же материала, но более облегченного - от 850 до1205 кг/м<sup>3</sup>, либо из гипсокартона или штукатуркой, содержащей до 60% вспученного перлита .

Определены также некоторые физико-механические свойства: прочность при сжатии и водопоглощение по массе (табл. 1)

**Таблица. 1.** Показатели физико-механических свойств  
**Table. 1.** Indicators of physical and mechanical properties

Наименование показателей	Значения показателей
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	до 2000
Прочность при сжатии, МПа	до 22.5 МПа
Водопоглощение, % по массе	от 0,44 до 9,5%

## ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований подтверждена возможность создания радиозащитных строительных материалов типа «сэндвич» из отходов нерудных и рудных материалов. Такие материалы представляют собой гетерогенную систему с неорганической матрицей и с введенными в ее состав диспергированными проводящими частицами. Выявлено, что наиболее эффективным является введение в состав композиционного материала некоторого количества отходов рудных минералов для придания им радиозащитных свойств. Определены физико-механические свойства полученных материалов такие, как средняя плотность, прочность при сжатии и водопоглощение по массе.

Введение в состав композиционных материалов отходов рудных и нерудных минералов решает, одновременно, и вопрос утилизации техногенного сырья и вопросы ресурсосбережения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мухаметрахимов Р.Х., Шафигуллин Р.И., Куприянов В.Н. Разработка радиозащитных шунгитосодержащих гипсоволокнистых облицовочных листов // Известия КГАСУ. 2017. № 3(41). С.224-231.
2. Гульбин В.Н., Колпаков Н.С., Горкавенко В.В., Чердынцев В.В. Разработка и исследование радио- и радиационно-защитных композиционных материалов // Научные технологии. 2015. №5. С.16-24.
3. Черкашина Н.И. Конструкционные радиационно-защитные материалы нового поколения // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 9(40). С.113-115.
4. И.Д. Краев, Е.М. Шульгин, М.М. Платонов, Г.Ю. Юрков Обзор композиционных материалов, сочетающих звукозащитные и радиозащитные свойства //Авиационные материалы и технологии.2016. №4(45).С.60-67.
5. Шейченко М.С., Алфимова Н.И., Вишневецкая Я.Ю. Современные композиционные радиационно-защитные материалы строительного назначения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №5.С.15-19.
6. Королев Е.В., Гришина А.Н. Основные принципы создания радиационно-защитных материалов. Определение эффективного

химического состава // Изв. Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2009. № 6. С. 261–265.

7. Лесбаев А.Б. Композиционные материалы с суперпарамагнитными добавками, экранирующие СВЧ-излучение.: диссерт... на соискание канд.техн.наук. Алматы. 2018.114с.

8. Matyukhin P.V., Pavlenko V.I., Yastrebinsky R.N., Cherkashina N.I. The high-energy radiation effect on the modified iron-containing composite material // Middle East Journal of Scientific Research. 2013.V.17. №9. P.1343-1349

9. P.V. Matyukhin The choice of iron-containing filling for composite radioprotective material// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 327 (2018) 032036.P.1-6. doi:10.1088/1757-899X/327/3/032036

10. А.А.Беляев, Е.Е.Беспалова, В.В. Лепешкин Радиопоглощающие материалы на основе отделочных строительных материалов для защиты от СВЧ излучений базовых станций сотовой связи// Труды ВИАМ, 2015.№6.С.80-88.

## REFERENCES

1. Mukhametrakhimov R.Kh., Shafigullin R.I., Kupriyanov V.N. Development of radioprotective shungite-containing gypsum-fiber facing sheets // News of KGASU. 2017. No. 3(41). P.224-231.
2. Gulbin V.N., Kolpakov N.S., Gorkavenko V.V., Cherdintsev V.V. Development and research of radio- and radiation-protective composite materials// Science-intensive technologies. 2015. No. 5. P. 16-24.
3. Cherkashina N.I. Structural radiation-protective materials of a new generation // International Scientific Research Journal. 2015. No. 9(40). P.113-115.
4. I.D. Kraev, E.M. Shulgin, M.M. Platonov, G.Yu. Yurkov Review of composite materials combining sound-protective and radioprotective properties //Aviation materials and technologies.2016. No. 4 (45). P. 60-67.
5. Sheichenko M.S., Alfimova N.I., Vishnevskaya Y.Yu. Modern composite radiation-protective materials for construction purposes // Bulletin of BSTU named after. V.G. Shukhova. 2017. No. 5. P. 15-19.
6. Korolev E.V., Grishina A.N. Basic principles of creating radiation protective materials. Determination of the effective chemical composition // Izv. Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2009. No. 6. Pp. 261–265.

7. Lesbaev A.B. Composite materials with superparamagnetic additives that shield microwave radiation.: dissertation...for candidate of technical sciences. Almaty. 2018.114p.

8. Matyukhin P.V., Pavlenko V.I., Yastrebinsky R.N., Cherkashina N.I. The high-energy radiation effect on the modified ironcontaining composite material // Middle East Journal of Scientific Research. 2013.V.17. №9. P.1343-1349

9. P.V. Matyukhin The choice of iron-containing filling for composite radioprotective material// IOP

Conf. Series: Materials Science and Engineering 327 (2018) 032036.P.1-6. doi:10.1088/1757-899X/327/3/032036  
10.

10. A.A. Belyaev, E.E. Bespalova, V.V. Lepeshkin Radio-absorbing materials based on finishing building materials for protection from microwave radiation of cellular base stations // Proceedings of VIAM, 2015. No. 6. P. 80-88.

## RADIATION PROTECTIVE COMPOSITE MATERIAL BASED ON ORE MINERALS AND STONE PROCESSING WASTE

Gurgenyan<sup>1</sup> N.V., Knyazyan<sup>2</sup> N.B.

<sup>1,2</sup>Institute of general and inorganic chemistry NAS RA  
0051, Yerevan, Argutyun st.10, lane 2

**Abstract.** The relevance of the research topic lies in the fact that currently there is a steady tendency to increase the amount of electromagnetic radiation (EMR) occurring in the human environment, which negatively affects the healthy indoor environment and determines the focus of experimental research on protecting humans from factors hazardous to health. This article is devoted to the possibility of creating radioprotective building materials from man-made waste from various deposits of Armenia. Research is aimed at creating a comfortable living area inside buildings through the development of radioprotective sandwich-type materials that reduce the impact of EMR on human health. Work was carried out in the direction of developing samples of radio-absorbing structures and selecting radio-absorbing fillers. The laboratory obtained samples from stone processing waste and waste from the extraction of ore minerals with a density from -1500 to 2000 kg/m<sup>3</sup>, as well as samples based on expanded perlite and a mineral binder with a density of 250-300 kg/m<sup>3</sup> as an internal heat-insulating layer and transferred to the National Scientific Laboratory named after A.I.Alikhanyan (Yerevan Institute of Physics) for proton irradiation. In this work, the samples were subjected to proton irradiation, since it is a component of cosmic radiation, as well as EMR and is capable of penetrating through layers of matter depending on its composition and properties. Some physical and mechanical properties of the resulting materials, such as compressive strength and water absorption, were also studied. In addition, the article contains a review of foreign experience in obtaining radioprotective materials with various types of radiation. At this stage, only proton irradiation has been studied, but work in this direction continues.

**Subject of study:** development of radioprotective materials of the “sandwich” type.

**Materials and methods:** waste of aluminosilicate rocks (tuffs) and waste from the extraction of ore minerals were used. The method of proton irradiation of the obtained materials was used.

**Results:** radioprotective materials have been developed that reduce EMR.

**Conclusions:** The possibility of obtaining radioprotective materials by introducing ore mineral mining waste into the composition of the composite material has been confirmed.

**Key words:** radio-absorbing material, ore minerals, electromagnetic radiation, protonation.



УДК 666.9.022.3

## УТИЛИЗАЦИЯ ШЛАМОВЫХ ПРОДУКТОВ ПРОМЫВКИ ОТСЕВОВ ШАРХИНСКОГО КАРЬЕРА В ПРОИЗВОДСТВЕ СТЕНОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Федоркин С.И., Елькина И.И., Макарова Е.С., Ибраимов Р.Ф.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского»,  
Институт «Академия строительства и архитектуры»,  
295493, Республика Крым, г. Симферополь, улица Киевская, 181.,  
E-mail: irivel@mail.ru

**Аннотация:** Исследовано влияние полусухого прессования на прочность образцов. Показано, что оптимальное удельное давление прессования образцов из формовочных смесей, содержащих 10, 20, 30% шлакопортландцемента, составляет 30МПа. С помощью РЦКП проведена статическая обработка экспериментальных результатов и получено уравнение регрессии зависимости прочности образцов от давления прессования и содержания шлакопортландцемента в формовочной смеси.

При исследовании микроструктуры образцов установлено, что полученный материал представляет собой однородный и прочный конгломерат, кристаллы новообразований равномерно распределены по массе и связывают частицы шлама. Опытнo-промышленная проверка процесса полусухого прессования изделий установила возможность получения высококачественного пустотелого кирпича марок М100-М300 при содержании шлакопортландцемента в смеси в пределах 10-30% (мас.).

**Предмет исследования:** шламовые продукты промывки отсевов Шархинского карьера в производстве стеновых строительных материалов.

**Материалы и методы:** в работе использовали шлам Шархинского карьера и шлакопортландцемент Бахчисарайского цементного завода. Структуру образцов изучали с помощью электронной сканирующей микроскопии на микроскопе РЕМ-106, SELMI. Экспериментальные и промышленные испытания были проведены на оборудовании компании "Агрегат". Физико-механические свойства кирпича и тротуарных плит изучались в соответствии с нормами и стандартами, установленными в ГОСТ 6133-2019.

**Результаты:** Исследована микроструктура образцов и установлено, что полученный материал представляет собой однородный и прочный конгломерат, кристаллы новообразований равномерно распределены по массе и связывают частицы шлама. Было проведено экспериментальное и промышленное тестирование процесса полусухого прессования изделий из формовочных смесей, основанных на шламе Шархинского карьера. Была подтверждена возможность производства высококачественного пустотелого кирпича с маркировкой М100-М300 при использовании шлакопортландцемента в смеси в диапазоне 10-30% (по массе), что полностью соответствует требованиям, установленным в ГОСТ 6133-2019

**Выводы:** Шламовые продукты от промывки отсевов Шархинского карьера могут быть успешно использованы в производстве стеновых строительных материалов, что способствует утилизации отходов и улучшению экологического состояния окружающей среды. Эффективные методы утилизации шламовых продуктов позволяют получать качественные строительные материалы, с высокими физико-механическими свойствами и долговечностью.

**Ключевые слова:** шламовые продукты, отсевы, полусухое прессование, стеновые материалы, структура, свойства

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время утилизация вторичного сырья в многотоннажное производство строительных материалов имеет первостепенное значение. Комплексное использование сырья и отходов важно еще и потому, что оно связано с решением проблемы создания безотходных и экологически чистых технологий.

В процессе производства песка из отсевов, образующихся при дроблении грандиоритовых пород на Шархинском карьере (Республика Крым) при промывке образуется до 50-60 тыс. м<sup>3</sup> отходов в год.

В настоящее время общий объем отсевов в отвалах – 600,4 тыс. м<sup>3</sup>, полностью заполнен шламоотстойник объемом 1,5 тыс. м<sup>3</sup>, построен новый шламоотстойник объемом 5 тыс. м<sup>3</sup> (рис.1), который на сегодняшний день практически полностью заполнен.

Отсутствие экологически приемлемых условий для захоронения шламов на южном берегу Крыма (западная зона г. Алушты), вызывает необходимость поиска путей утилизации шлама.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДИХ ДОСТИЖЕНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Научные школы Ю.М.Баженова, П.П. Будникова, В.Т.Ерофеева, П.Г.Комохова, Л.Б.Сватовской, Т.М.Петровой, В.И. Соломатова и других ученых выполнили обширные исследования в области использования отходов в производстве строительных материалов. На основе их исследований созданы методики прогнозирования прочностных характеристик бетонов, изготавливаемых на основе техногенного сырья, изучены процессы кристаллизации при введении в цемент тонкодисперсных техногенных продуктов, разработаны технологические процессы

изготовления строительных материалов на основе побочных продуктов различных производств [1].



**Рис. 1.** Шламоотстойник Шархинского карьера объемом 5 тыс. м<sup>3</sup>  
**Fig. 1.** Sludge sump of the Sharkhinsky quarry with a volume of 5 thousand m<sup>3</sup>

В работе [2] исследован процесс формирования структуры газобетонных изделий на основе тонкодисперсных отходов камнедробления горных пород, принципиально отличающихся по химическому и минеральному составу от традиционно применяемых наполнителей для производства ячеистых бетонов. При этом установлено следующее: тонкодисперсные отходы камнедробления горных пород могут быть эффективно использованы взамен традиционно применяемых кремнеземистых наполнителей при изготовлении ячеистых бетонов.

Анализируя ряд исследований [3,4,5,6] можно заключить, что одним из наиболее перспективных направлений утилизации шламовых отходов промывки отсеков является их использование в производстве строительных материалов, например, в качестве наполнителя-пластификатора цементных масс для производства стеновых строительных изделий. Однако при таком способе утилизации количество перерабатываемого шлама незначительно и не может решить экологические проблемы, связанные с увеличением объема шламонакопителей.

Таким образом, существующий опыт переработки высокодисперсных шламовых продуктов в строительные материалы свидетельствует о том, что наиболее эффективным способом увеличения объемов утилизации является полусухое прессование мелкоштучных стеновых материалов.

Шлам является отходом мокрой классификации отсеков карьера.

По минеральному составу шлам в основном представлен тонкодисперсными фракциями горной породы (кварцем и полевым шпатом).

Исследуя фракционный и химический состав Шархинских шламов, можно сделать вывод, что шламы представляют собой тонкодисперсный продукт, в котором зерна менее 0,15 мм составляют 98,5-99,9%, содержание в шламе фракции менее 0,05 мм составляет 70-99% в зависимости от места

отбора проб. Примерно 20% шлама представлено фракцией менее 0,01 мм.

Специфические свойства шлама Шархинского карьера: высокая дисперсность, пониженное содержание кремнезема, пассивированная поверхность частиц, наличие морских солей и др., предопределяет неприемлемость обычной широко опробованной технологии их переработки при изготовлении бетонных изделий. В итоге возникает необходимость поиска других технических решений его утилизации.

## ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью настоящей работы является разработка эффективной технологии переработки шламовых продуктов промывки отсеков Шархинского карьера в стеновые строительные материалы с использованием метода полусухого прессования изделий.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить влияние полусухого прессования на прочность образцов из формовочных смесей на основе шламовых продуктов промывки отсеков Шархинского карьера.
2. Исследовать микроструктуру образцов.
3. Провести опытно-промышленную проверку процесса полусухого прессования изделий из формовочных смесей на основе шлама Шархинского карьера.

Лабораторные исследования проводили на образцах-цилиндрах диаметром и высотой 3 см. Сырьевую смесь заданного состава готовили перемешиванием шлакопортландцемента и шлама в лабораторном смесителе. Относительная формовочная влажность смеси 10% (мас.). Образцы-цилиндры прессовали на прессе П-10 при заданном удельном давлении. После прессования образцы выдерживали в течение 28 суток во влажных

условиях, а затем определяли их предел прочности при сжатии по стандартной методике.

Структуру образцов изучали с помощью электронной сканирующей микроскопии на микроскопе РЕМ-106, SELMI.

Опытно-промышленные испытания проводили на оборудовании фирмы «Агрегат» путем формования стандартного пустотелого кирпича. Физико-механические характеристики кирпича

определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 6133-2019.

На первом этапе нами были проведены исследования по определению оптимального давления полусухого прессования изделий.

Результаты исследования зависимости предела прочности образцов при сжатии от удельного давления прессования и состава смеси приведены в табл.1.

**Таблица 1.** Зависимость предела прочности образцов при сжатии от состава формовочной смеси и удельного давления прессования

**Table 1.** Dependence of the compressive strength of samples on the composition of the molding mixture and the specific pressing pressure

Удельное давление прессования, МПа	Предел прочности образцов при сжатии (МПа) состав (% , мас.)		
	Шлам-90%, ШПЦ-10%	Шлам-80%, ШПЦ-20%	Шлам-70%, ШПЦ-30%
5	2,44	4,10	9,85
10	4,77	9,91	16,97
15	7,40	13,12	21,43
20	10,11	15,20	25,50
25	11,95	16,93	28,50
30	13,51	19,82	30,81
35	13,64	20,01	31,02
40	13,72	20,07	31,17

Из формовочной смеси, содержащей шлам Шархинского карьера и шлакопортландцемент Бахчисарайского цементного завода, прессовали образцы-цилиндры при удельном давлении 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 и 40 МПа. Образцы прессовали из сырьевой смеси трех составов, включающих 10, 20, 30% по массе шлакопортландцемента, соответственно.

Данные табл. 1 свидетельствуют о существенном росте прочности образцов с увеличением давления. Причем, до давления 30 МПа происходит более интенсивный рост прочности образцов с 2,44-9,85 МПа до 13,51-30,81 МПа независимо от количества шлакопортландцемента. При увеличении давления прессования более 30 МПа рост прочности незначителен (до 1,5%).

Полученные экспериментальные исследования показывают, что оптимальное давление прессования составляет 30 МПа.

Для изучения одновременного влияния давления прессования и содержания шлакопортландцемента в формовочной смеси на физико-механические свойства образцов был принят ротатальный центральный композиционный план (РЦКП) [7,8].

Стандартная методика обработки ротатального плана позволила вывести уравнение

регрессии, описывающее аналитическую функцию изменения физико-механических свойств от исследуемых факторов.

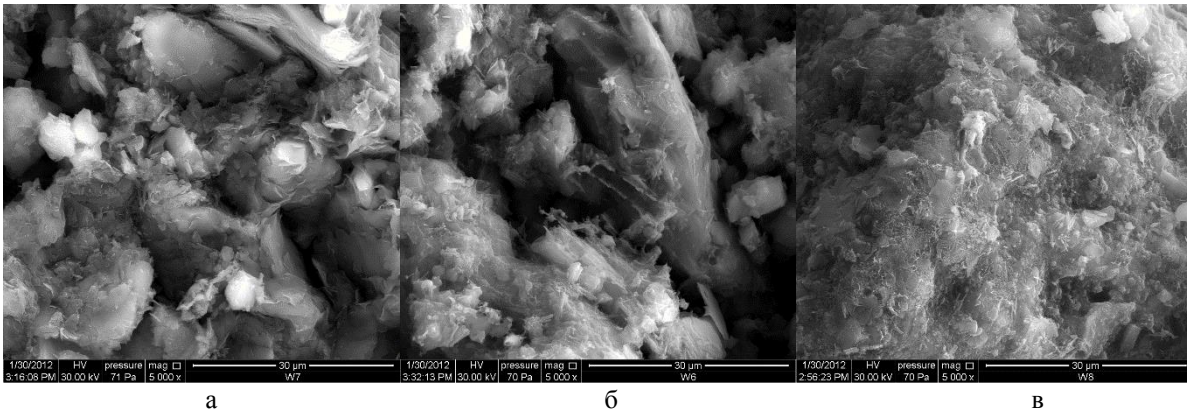
Алгебраический полином второго порядка, описывающий зависимость прочности от давления прессования ( $X_1$ ) и количества шлакопортландцемента в формовочной смеси ( $X_2$ ), имеет следующий вид:

$$Y_1 = 22,14 + 1,01X_1 + 8,78X_2 - 0,71X_1^2$$

Представленное уравнение регрессии позволяет количественно оценить влияние варьирования каждого из изучаемых технологических факторов (давления прессования и количества шлакопортландцемента в формовочной смеси) на прочность образцов.

Анализ уравнения регрессии свидетельствуют о положительном влиянии роста давления прессования и содержания шлакопортландцемента в формовочной смеси на увеличение прочности образцов.

Электромикроскопические исследования структуры цементного камня с содержанием шламовых продуктов 70, 80, 90% (мас.) приведены на рис. 2.



**Рис. 2.** Структура цементного камня с содержанием шлама 70% (а), 80% (б), 90%(в) в возрасте 28 суток

**Fig. 2.** Structure of cement stone with sludge content 70% (a), 80% (b), 90% (c) at the age of 28 days

Результаты электромикроскопических исследований показали, что структура образцов состоит из частиц шлама, продуктов гидратации шлакопортландцемента и его негидратированных зерен. Кристаллы гидросиликатов и гидроалюминатов кальция перекрывают поровое пространство. Образующийся при гидратации гидроксид кальция представлен кристаллами гексагональной формы и более массивными структурами. Кристаллы новообразований равномерно распределены по массе материала и скрепляют частицы шлама в плотный и прочный конгломерат, что подтверждают результаты физико-механических испытаний образцов.

В заводских условиях была проведена опытно-промышленная проверка технологии прессования пустотелого кирпича из формовочных смесей приведенных выше составов. Процесс формования и полученные изделия приведены на рис. 3.

Приготовленные в смесителе принудительного действия формовочные смеси направляли в промышленный гидравлический пресс двухстороннего действия А 300-С2 фирмы «Агрегат» для прессования пустотелого лицевого кирпича размером 250 × 120 × 65 мм. Удельное давление прессования кирпича на этом прессе составляло 30МПа.



**Рис. 3.** Процесс формования (а) и вид полученного кирпича (б)

**Fig. 3.** The molding process (a) and the type of the resulting brick (b)

В результате опытно-промышленной проверки получен пустотелый кирпич с пределом прочности при сжатии 12,5МПа (шлам-90%, ШПЦ-10%); 20,3 МПа (шлам-80%, ШПЦ-20%) и 31,6МПа (шлам-70%, ШПЦ-30%). Лицевой кирпич из опытной партии обладал следующими физико-механическими характеристиками: средняя плотность материала кирпича 1950 кг/м<sup>3</sup>, средняя плотность кирпича – 1400 кг/м<sup>3</sup>, водопоглощение – 8%, морозостойкость не менее 50 циклов

попеременного замораживания и оттаивания, пустотность кирпича – 33 %.

Таким образом, результаты лабораторных и опытно-промышленных испытаний свидетельствуют о возможности эффективной переработки шламовых продуктов промывки отсевов Шархинского карьера в качественные изделия с использованием метода полусухого прессования. При этом марка получаемого кирпича по ГОСТ 6133-2019 составляет М100-М300 в

зависимости от количества шлакопортландцемента в сырьевой смеси.

## ВЫВОДЫ

1. Изучено влияние полусухого прессования на прочность образцов из формовочных смесей на основе шламовых продуктов промывки отсевов Шархинского карьера. Показано, что оптимальное удельное давление прессования образцов из формовочных смесей, содержащих 10, 20, 30% шлакопортландцемента, составляет 30 МПа.

2. С помощью рототабельного центрального композиционного плана проведена статическая обработка экспериментальных результатов и получено уравнение регрессии зависимости прочности образцов от давления прессования и содержания шлакопортландцемента в формовочной смеси.

3. Исследована микроструктура образцов и установлено, что полученный материал представляет собой однородный и прочный конгломерат, кристаллы новообразований равномерно распределены по массе и связывают частицы шлама.

4. Проведена опытно-промышленная проверка процесса полусухого прессования изделий из формовочных смесей на основе шлама Шархинского карьера. Установлена возможность получения высококачественного пустотелого кирпича марок М100-М300 при содержании шлакопортландцемента в смеси в пределах 10-30% (мас.) полностью соответствующего требованиям ГОСТ 6133-2019.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пахрудинов И.П. Бетоны на основе отсева щебеночных заводов: дис. кандидата технических наук : 05.23.05 / Пахрудинов Исмаил Пирмагомедович. – Ростов-на-Дону, 2005.-157 с.

2. Фомичева Г.Н. Неавтоклавный газобетон на основе дисперсных отходов камнедробления: дис. ... кандидата технических наук : 05.23.05 / Фомичева Галина Николаевна. – Новосибирск, 2005.-141 с.

3. Дворкин Л. И. Строительные материалы из промышленных отходов / Дворкин Л. И., Пашков И. А. – К. : Вища школа, 1980. – 144 с.

4. Поискные исследования по использованию шламовых продуктов промывки отсевов Шархинского карьера в производстве строительных материалов / [С.В.Ефанова, В.В.Корнеев, И.Л.Мошковская, П.Г.Сильченко, Ю.П. Скрыпник]. – Симферополь. : НИПКТИ строительных материалов "Укрстромниипроект", 1991. – 115 с. – (Научно-технический отчет ; № гос. регистрации 01.9.10011042).

5. Долгарев А.В. Вторичные сырьевые ресурсы в производстве строительных материалов: Справ. пособие / Долгарев А.В. – М. : Стройиздат, 1990. – 456 с.

6. Пирогов Н. Л. Вторичные ресурсы: эффективность, опыт, перспективы / Пирогов Н. Л., Сушон С. П., Завалко А. Г. – М. : Экономика, 1987. – 199 с.

7. Вознесенский В. А. Экспериментально-статистическое моделирование и оптимизация в материаловедении / В.А. Вознесенский. – К., 1993. – 16 с.

8. Ермаков С. М. Математическая теория оптимального эксперимента / Ермаков С. М., Жиглявский А. А. – М. : Наука, 1987. – 318 с.

9. Налимов В. В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / Налимов В. В., Чернова Н. А. – М. : Наука, 1965. – 340 с.

10. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей / [Бродский В. З., Бродский Л. И., Голикова Т. И., Никитина Е. П., Панченко Л. А.]. – М.: Металлургия, 1982. – 752 с.

## REFERENCES

1. Pakhrudinov I.P. Concretes based on screening of crushed stone plants: dissertation of Candidate of technical sciences: 05.23.05 / Pakhrudinov Ismail Pirmagomedovich. – Rostov-on-Don, 2005.-157 p.

2. Fomicheva G.N. Non-autoclaved aerated concrete based on dispersed stone crushing waste: dis. ...candidate of Technical Sciences : 05.23.05 / Fomicheva Galina Nikolaevna. – Novosibirsk, 2005.-141 p.

3. Dvorkin L. I. Building materials from industrial waste / Dvorkin L. I., Pashkov I. A. – K. : Vishcha shkola, 1980. – 144 p.

4. Exploratory research on the use of sludge products of washing out of the Sharkhinsky quarry in the production of building materials / S.V.Efanova, V.V.Korneev, I.L.Moshkovskaya, P.G.Silchenko, Yu.P. Skrypnik. – Simferopol. : NIPKTI of building materials "Ukrstroomniiproekt", 1991. – 115 p. – (Scientific and technical report ; state registration №. 01.9.10011042).

5. Dolgarev A.V. Secondary raw materials in the production of building materials / Dolgarev A.V. – М. : Stroyizdat, 1990. – 456 p. – (Physico-chemical analysis : Reference. the manual).

6. Pirogov N. L. Secondary resources: efficiency, experience, prospects / Pirogov N. L., Sushon S. P., Zavalko A. G. – М. : Economics, 1987. – 199 p.

7. Voznesensky V. A. Experimental statistical modeling and optimization in materials science / V.A. Voznesensky. – К., 1993. – 16 p.

8. Ermakov S. M. Mathematical theory of optimal experiment / Ermakov S. M., Zhiglyavsky A. A. – М. : Nauka, 1987. – 318 p

9. Nalimov V. V. Statistical methods of planning extreme experiments / Nalimov V. V., Chernova N. A. – М. : Nauka, 1965. – 340 p.

10. Tables of experimental plans for factorial and polynomial models / [Brodsky V. Z., Brodsky L. I.,

Golikova T. I., Nikitina E. P., Panchenko L. A.]. – M.: Metallurgy, 1982. – 752 p.

## UTILIZATION OF SLUDGE PRODUCTS OF WASHING OUT OF THE SHARKHINSKY QUARRY IN THE PRODUCTION OF WALL BUILDING MATERIALS

Fedorkin S.I., Elkina I.I., Makarova E.S., Ibragimov R.F.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University,  
Institute "Academy of Construction and Architecture"  
181 Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, Russian Federation  
E-mail: irivel@mail.ru

**Abstract.** The effect of semi-dry pressing on the strength of samples has been studied. It is shown that the optimal specific pressure for pressing samples from molding mixtures containing 10, 20, 30% slag-portland cement is 30Mpa. With the help of RCCP, static processing of experimental results was carried out and a regression equation was obtained for the dependence of the strength of the samples on the pressing pressure and the content of slag-portland cement in the molding mixture.

When examining the microstructure of the samples, it was found that the resulting material is a homogeneous and durable conglomerate, the crystals of neoplasms are evenly distributed over the mass and bind the sludge particles. A pilot test of the semi-dry pressing process of products has established the possibility of obtaining high-quality hollow bricks of the M100-M300 grades with a content of slag-portland cement in the mixture in the range of 10-30% (wt.).

**The subject of the study:** sludge products of flushing the screenings of the Sharkhinsky quarry in the production of wall building materials.

**Materials and methods:** sludge from the Sharkhinsky quarry and slag-portland cement from the Bakhchisarai cement Plant were used in the work. The structure of the samples was studied using electron scanning microscopy on a REM-106 SELMI microscope. Experimental and industrial tests were carried out on the equipment of the Aggregate company. The physical and mechanical properties of bricks and paving slabs were studied in accordance with the norms and standards established in GOST 6133-2019.

**Results:** The microstructure of the samples was investigated and it was found that the resulting material is a homogeneous and durable conglomerate, the crystals of neoplasms are evenly distributed over the mass and bind the sludge particles. Experimental and industrial testing of the semi-dry pressing process of products from molding mixtures based on the sludge of the Sharkhinsky quarry was carried out. It was confirmed that it is possible to produce high-quality hollow bricks marked M100-M300 using slag-portland cement in a mixture in the range of 10-30% (by weight), which fully meets the requirements set out in GOST 6133-2019

**Conclusions:** Sludge products from the flushing of the Sharkhinsky quarry screenings can be successfully used in the production of wall building materials, which contributes to waste disposal and improvement of the ecological state of the environment. Effective methods of disposal of sludge products make it possible to obtain high-quality building materials with high physical and mechanical properties and durability.

**Key words:** sludge products, screenings, semi-dry pressing, wall materials, structure, properties

## Раздел 3. Инженерное обеспечение

УДК 532.517

### МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В РАСЧЕТАХ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ

Гусенцова Я.А.<sup>1</sup>, Красногрудов А.В.<sup>2</sup>, Родыгина М.М.<sup>3</sup>, Высоцкая Н.Д.

<sup>1-3</sup>ФБГОУ ВО «Луганский государственный университет им. В. Даля»  
291034, Луганская Народная Республика, г.о. Луганский, г. Луганск, кв. Молодежный, 20А  
E-mail: <sup>1</sup>gusentsova@gmail.com, <sup>2</sup>krasnogrudov@mail.ru, <sup>3</sup>sunsara\_06@mail.ru

<sup>3</sup> ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского»,  
Институт «Агротехнологическая академия»  
295492, Республика Крым, г. Симферополь, п. Аграрное,  
E-mail: natali.v-v@mail.ru

**Аннотация.** Проведен обзор наиболее распространенных в инженерных расчетах моделей турбулентности, которые позволяют приближенно описывать турбулентные потоки, используя уравнения Рейнольдса, показаны их области применения. Для расчета турбулентных течений путем решения уравнений Рейнольдса, принимается гипотеза замыкания уравнений турбулентного движения для вихревых или «кажущихся» турбулентных напряжений и связь с другими переменными, входящими в уравнения.

Отмечено, что одной из основных рассматривается гипотеза Буссинеска, которая подтверждается экспериментальными исследованиями турбулентности, утверждающая, что турбулентный поток характеризуется наличием каскада передачи энергии от больших масштабов к меньшим.

Кроме того, авторами рассмотрена полуэмпирическая теория Прандтля, основанная на предположении, что турбулентное движение состоит из бесконечного числа вихрей различных масштабов, которые взаимодействуют друг с другом и переносят энергию от больших масштабов к меньшим; модели специально адаптированные к конкретному типу задачи, (GDT, Generalized Theory of Turbulence), которая является теорией, разработанной для описания и моделирования например, LES для моделирования взаимодействия турбулентных потоков; обобщенная теория развитой турбулентности турбулентных потоков в различных технических устройствах.

Обосновано, что одним из наиболее распространенных подходов является использование моделей с различными уровнями детализации, начиная с более простых моделей и переходя к более сложным, если это необходимо для достижения требуемой точности. Такой подход называется методом «лестницы моделей» или RANS/LES.

**Предмет исследования:** модели турбулентности для расчета аэродинамических характеристик газовых потоков.

**Материалы и методы:** основой выполненных исследований является ряд научных работ отечественных и зарубежных исследователей в данной области и результаты, полученные авторами в процессе выполнения работы.

Использован системный подход, означающий рассмотрение и изучение объекта исследования как интегрированной системы, состоящей из множества взаимосвязанных элементов.

**Результаты:** авторы отмечают, что одним из наиболее распространенных подходов является использование моделей с различными уровнями детализации, начиная с более простых моделей и переходя к более сложным, если это необходимо для достижения требуемой точности. Такой подход называется методом «лестницы моделей» или RANS/LES.

**Выводы:** выбор модели турбулентности для конкретных случаев зависит от ряда факторов, включая характеристики потока, доступные данные, требования к точности и вычислительные возможности. К критериям выбора относятся: физические свойства и режим потока; степень точности расчетов и расчетные возможности.

**Ключевые слова:** турбулентность, модель турбулентности, области применения, k-epsilon модель, модель Буссинеска, «лестница моделей».

## ВВЕДЕНИЕ

Моделирование турбулентности является важной задачей во многих областях науки и техники, таких как аэродинамика, гидродинамика, климатология, и многие другие.

Турбулентность – это сложное движение жидкости или газа, которое характеризуется непредсказуемыми колебаниями скорости и давления в пространстве и времени. Эти колебания могут быть очень малыми и быстрыми, что делает их невозможными для точного измерения или расчета на макроскопическом уровне. Поэтому, для

моделирования турбулентности необходимо использовать математические модели [4].

Модели турбулентности позволяют приближенно описывать турбулентные потоки, используя уравнения Рейнольдса [9]. Эти модели могут быть классифицированы как линейные и нелинейные, и могут использоваться в различных приложениях в зависимости от степени точности, необходимой для решения задачи.

Исходя из этого, целью исследования в представленной работе является анализ существующих моделей турбулентности для расчетов конкретных случаев течения газовых потоков.

Среди задач можно выделить следующие: анализ наиболее распространенных в практике расчетов моделей аэродинамических характеристик газовых потоков, таких как, гипотеза Буссинеска, полуимперическая гипотеза Прандтля, обобщенная теория развитой турбулентности (GDT, Generalized Theory of Turbulence), модель k-epsilon и некоторые другие.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Одним из основных применений моделей турбулентности является проектирование и оптимизация инженерных систем, таких как автомобили, самолеты, корабли, турбины др. Использование моделей турбулентности позволяет инженерам и проектировщикам более точно оценивать производительность систем и определять наиболее эффективные их конфигурации [6].

Кроме того, моделирование турбулентности имеет важное значение для исследования атмосферных явлений, таких как циклоны и ураганы, а также для моделирования течения воды в реках и океанах. Эти приложения помогают улучшить понимание природных явлений и предоставляют ценную информацию для принятия решений в различных областях, включая экологию и гидрологию.

Таким образом, использование моделей турбулентности является необходимым для более точного моделирования и понимания сложных турбулентных потоков, что в свою очередь позволяет улучшить производительность и эффективность инженерных систем и улучшить наше понимание природных явлений.

Аэродинамика потоков в различных технических устройствах оказывает существенное влияние на их надежность и экономичность. На базе основных уравнений аэродинамики была решена задача о приточных и вытяжных воздуховодах. К числу аналитически решаемых вопросов следует в первую очередь отнести вопросы о закономерностях развития свободных приточных изотермических и неизоатермических струй, конвективных струй, о взаимодействии их между собой и с набегающим на них потоком воздуха, о стеснении струй твердыми стенками и вопрос о затихании скоростей во всасывающих факелах [3].

Подчеркнем еще раз, что при разработке моделей течения важной задачей в расчетах аэродинамических характеристик различных аэродинамических и гидравлических систем является выбор модели для дополнительных

турбулентных напряжений при замыкании уравнений движения.

В литературе [1, 2, 4, 5] достаточно широко представлены подходы к определению турбулентных напряжений, как на основе теоретических гипотез, так и с использованием полуэмпирических зависимостей.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основой выполненных исследований является ряд научных работ отечественных и зарубежных исследователей в данной области и результаты, полученные авторами в процессе выполнения работы.

В контексте исследований использован системный подход, означающий рассмотрение и изучение объекта исследования как интегрированной системы, состоящей из множества взаимосвязанных элементов. Этот подход позволяет учитывать множество факторов, которые могут влиять на результаты исследования, и обеспечивает более полное и точное понимание исследуемых явлений.

В данном случае системный подход включал следующие этапы:

1. Анализ модели и ее компонентов.
2. Определение взаимосвязей между компонентами модели.
3. Оценка воздействия каждого компонента на модель в целом.
4. Оценка результатов исследования.

Применение системного подхода в данном случае позволило получить более точные и полные результаты, а также учитывать множество факторов, которые могут повлиять на результаты исследования.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В представленной работе дан обзор наиболее распространенных в практике инженерных расчетов модели турбулентности, описаны области их применения и даны рекомендации по использованию их в расчетах аэродинамических характеристик систем промышленного назначения. Базовыми уравнениями, описывающими стационарное турбулентное течение без учета массовых сил в декартовой системе координат, являются уравнения Рейнольдса [1, 4, 9]:

$$\begin{aligned} & \rho \left( \langle u_x \rangle \frac{\partial \langle u_x \rangle}{\partial x} + \langle u_y \rangle \frac{\partial \langle u_x \rangle}{\partial y} + \langle u_z \rangle \frac{\partial \langle u_x \rangle}{\partial z} \right) = \\ & = \rho g_x + \mu \left( \frac{\partial^2 \langle u_x \rangle}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \langle u_x \rangle}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \langle u_x \rangle}{\partial z^2} \right) + \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left( -\rho \langle u_x' u_x' \rangle \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( -\rho \langle u_x' u_y' \rangle \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( -\rho \langle u_x' u_z' \rangle \right); \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \rho \left( \langle u_x \rangle \frac{\partial \langle u_y \rangle}{\partial x} + \langle u_y \rangle \frac{\partial \langle u_y \rangle}{\partial y} + \langle u_z \rangle \frac{\partial \langle u_y \rangle}{\partial z} \right) = \\ & = \rho g_y + \mu \left( \frac{\partial^2 \langle u_y \rangle}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \langle u_y \rangle}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \langle u_y \rangle}{\partial z^2} \right) + \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left( -\rho \langle u_y' u_x' \rangle \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( -\rho \langle u_y' u_y' \rangle \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( -\rho \langle u_y' u_z' \rangle \right); \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \rho \left( \langle u_x \rangle \frac{\partial \langle u_z \rangle}{\partial x} + \langle u_y \rangle \frac{\partial \langle u_z \rangle}{\partial y} + \langle u_z \rangle \frac{\partial \langle u_z \rangle}{\partial z} \right) = \\ & = \rho g_z + \mu \left( \frac{\partial^2 \langle u_z \rangle}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \langle u_z \rangle}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \langle u_z \rangle}{\partial z^2} \right) + \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left( -\rho \langle u_z' u_x' \rangle \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( -\rho \langle u_z' u_y' \rangle \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( -\rho \langle u_z' u_z' \rangle \right), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\langle u_x \rangle, \langle u_y \rangle, \langle u_z \rangle$  – осредненные проекции скорости;

$\langle p \rangle$  – осредненное давление;

$u_x', u_y', u_z'$  – пульсационные проекции скорости;

$\langle u_x' u_x' \rangle, \langle u_x' u_y' \rangle, \dots$  – осредненные значения произведения двух пульсационных скоростей;

$\mu$  – динамическая вязкость среды.

Уравнения движения дополняются уравнением неразрывности:

$$\frac{\partial \langle u_x \rangle}{\partial x} + \frac{\partial \langle u_y \rangle}{\partial y} + \frac{\partial \langle u_z \rangle}{\partial z} = 0. \quad (4)$$

Система уравнений движения и неразрывности (1) – (4) содержит десять неизвестных и, следовательно, незамкнута. Чтобы рассчитать турбулентные течения путем решения уравнений Рейнольдса, необходимо принять гипотезу замыкания для «кажущихся» турбулентных напряжений и другими переменными, входящими в уравнения.

Все существующие гипотезы и основанные на них модели турбулентности имеют недостатки. Окончательная модель турбулентности еще не

создана. Работы многих исследователей [2, 7,10] в области турбулентных течений посвящены поиску моделей, которые имеют приемлемую точность в ограниченном диапазоне условий течения.

Гипотеза Буссинеска (также известная как гипотеза каскадной турбулентности) является фундаментальной концепцией в изучении турбулентности. Она была предложена в 1941 году французским физиком Жоржем Буссинеском.

Согласно гипотезе Буссинеска, турбулентное движение состоит из бесконечной иерархии вихрей

различных масштабов, которые образуются за счет неустойчивости потока. Большие вихри переносят энергию от более крупных масштабов к меньшим, пока энергия не расходуется на молекулярную диффузию. Каждый вихрь имеет свой масштаб и время жизни, которые зависят от величины и скорости потока.

Гипотеза Буссинеска подтверждается экспериментальными исследованиями турбулентности, которые показывают, что турбулентный поток характеризуется наличием каскада энергии от больших масштабов к меньшим. Эта гипотеза также используется в моделировании

турбулентности в различных инженерных приложениях, включая аэродинамику, гидродинамику, климатологию и др.

Однако, несмотря на то, что гипотеза Буссинеска считается важной теоретической концепцией в изучении турбулентности, она не является полностью универсальной и может быть улучшена или дополнена в зависимости от конкретной задачи и условий потока.

Согласно гипотезе Буссинеска [4, 6, 11] турбулентное напряжение определяется по формуле, аналогичной для касательного напряжения при ламинарном течении. Например,

$$\tau_{xy}^t = -\rho \langle u_x' u_y' \rangle = \rho \nu_v \left( \frac{\partial \langle u_x \rangle}{\partial y} + \frac{\partial \langle u_y \rangle}{\partial x} \right), \quad (5)$$

а для прямолинейного вдоль оси  $x$  сдвигового течения:

$$\tau_{xy}^t = -\rho \langle u_x' u_y' \rangle = \rho \nu_v \frac{\partial \langle u_x \rangle}{\partial y}. \quad (6)$$

Коэффициент  $\nu_a$  носит название кинематического коэффициента турбулентной (вихревой или «кажущейся») вязкости и имеет размерность  $[m^2/c]$ . Если предположить или установить из опыта определенный вид зависимости  $\nu_v$  от координат, то решается задача отыскания связи турбулентного напряжения и усредненной скорости.

Полуэмпирическая теория Прандтля (также известная как классическая теория турбулентности) разработана Людвигом Прандтлем в начале XX века [3, 6]. Она основана на предположении, что турбулентное движение состоит из бесконечного числа вихрей различных масштабов, которые взаимодействуют друг с другом и переносят энергию от больших масштабов к меньшим.

Согласно теории Прандтля, существует универсальный закон, называемый «законом движения Прандтля», который описывает статистические характеристики турбулентного потока. Этот закон утверждает, что интенсивность турбулентного потока пропорциональна средней скорости потока и обратно пропорциональна линейному размеру потока. Также предполагается, что турбулентность описывается двумя параметрами: кинетической энергией и масштабом.

Теория Прандтля позволяет описывать многие экспериментальные данные, например, зависимость среднеквадратичного отклонения скорости от расстояния до стенки трубы, но она не способна описать все турбулентные явления, поскольку не учитывает эффекты сжимаемости, разрыва потока и другие особенности турбулентности в сложных потоках.

Тем не менее, теория Прандтля по-прежнему является важным инструментом для изучения турбулентности и используется во многих областях науки и техники.

Согласно этой теории модуль касательного турбулентного напряжения для прямолинейного вдоль оси  $x$  сдвигового течения имеет вид:

$$|\tau_{xy}^t| = \left| \rho \langle u_x' u_y' \rangle \right| = \rho l_t^2 \left( \frac{\partial \langle u_x \rangle}{\partial y} \right)^2, \quad (7)$$

где  $l_t$  – длина пути перемешивания.

Используя (6) и (7), устанавливается связь между кинематическим коэффициентом вихревой вязкости и длиной пути перемешивания:

$$\nu_a = l_t^2 \left| \frac{\partial \langle u_x \rangle}{\partial y} \right|. \quad (8)$$

Как видно, гипотеза Буссинеска и гипотеза Прандтля сводит задачу отыскания связи турбулентных касательных напряжений с полем усредненных скоростей к другой задаче – определению некоторой функции координат  $\nu_a$  и  $l_t$ , характерной для турбулентного потока. Решение этой второй задачи основано или на экспериментальных данных, или на дополнительных гипотезах.

Обобщенная теория развитой турбулентности (GDT, Generalized Theory of Turbulence) является теорией, разработанной для описания и моделирования турбулентных потоков в различных физических системах, в таких отраслях, как

аэродинамика, гидродинамика, теплообмен и др. [3, 9].

GDT основывается на предположении, что турбулентные потоки состоят из взаимодействующих вихрей различных масштабов, и что энергия передается от больших масштабов к меньшим в результате этого взаимодействия. В результате, GDT использует статистический подход для описания турбулентных потоков, в котором параметры потока, такие как скорость и давление, рассматриваются как случайные величины.

Основной элемент GDT – это уравнение Колмогорова-Захарова (KZ), которое описывает спектр энергии турбулентного потока в зависимости от масштаба [7].

$$k = \frac{1}{2} (\langle u_x'^2 \rangle + \langle u_y'^2 \rangle + \langle u_z'^2 \rangle) \quad (9)$$

и скорости ее диссипации (форма записи представлена по Шлихтингу [1, 2, 4]:

$$\begin{aligned} \varepsilon = \nu & \left[ 2 \left\langle \frac{\partial u_x'}{\partial x} \right\rangle^2 + 2 \left\langle \frac{\partial u_y'}{\partial y} \right\rangle^2 + 2 \left\langle \frac{\partial u_z'}{\partial z} \right\rangle^2 + \right. \\ & + \left\langle \left( \frac{\partial u_x'}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial u_y'}{\partial x} \right)^2 \right\rangle + \left\langle \left( \frac{\partial u_x'}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial u_z'}{\partial x} \right)^2 \right\rangle + \\ & \left. + \left\langle \left( \frac{\partial u_y'}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial u_z'}{\partial y} \right)^2 \right\rangle \right]. \end{aligned} \quad (10)$$

Одной из наиболее распространенных моделей турбулентности является модель k-epsilon. Она основана на предположении о том, что в турбулентных потоках энергия перемещается между макроскопическими структурами течения и мелкими вихрями, которые обладают большей диссипацией энергии. Модель k-epsilon позволяет описывать эти процессы и прогнозировать распределение скорости и турбулентной энергии в течении газа.

Согласно такому подходу построены модификации k-epsilon модели, в которых турбулентные напряжения рассчитываются на основании концепции вихревой вязкости:

$$\tau_{ij}^t = \rho \nu_a \left( \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho \delta_{ij} k, \quad (11)$$

где символы Кронекера

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j; \\ 0, & i \neq j. \end{cases}$$

Оно описывает, как энергия более высоких масштабов передается к меньшим, и как она диссипируется на малых масштабах.

Основные достоинства GDT включают ее универсальность и способность описывать турбулентные потоки в широком диапазоне условий, в том числе в наиболее сложных и неоднородных системах. Кроме того, GDT может быть использована для моделирования турбулентных потоков в различных инженерных приложениях.

В основе теории [3, 6, 11] положен анализ изменения кинетической энергии турбулентного пульсационного движения:

или более простым образом:

$$\tau_{ij}^t = \rho \nu_a \left( \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right). \quad (12)$$

Выражение (12) упрощает определение только нормальных напряжений.

Кинематический коэффициент вихревой вязкости устанавливается по «связке» Прандтля-Колмогорова:

$$\nu_a = C_\nu \frac{k^2}{\varepsilon}, \quad (13)$$

где  $C_\nu$  – эмпирическая константа.

Кинетическая энергия турбулентного пульсационного движения и скорость ее диссипации связываются системой уравнений, где дополнительно рассматривается скорость генерации турбулентности:

$$\begin{aligned}
 G = & \tau_{xx}^t \frac{\partial \langle u_x \rangle}{\partial x} + \tau_{yy}^t \frac{\partial \langle u_y \rangle}{\partial y} + \tau_{zz}^t \frac{\partial \langle u_z \rangle}{\partial z} + \\
 & + \tau_{xy}^t \frac{\partial \langle u_x \rangle}{\partial y} + \tau_{yx}^t \frac{\partial \langle u_y \rangle}{\partial x} + \tau_{xz}^t \frac{\partial \langle u_x \rangle}{\partial z} + \\
 & + \tau_{zx}^t \frac{\partial \langle u_z \rangle}{\partial x} + \tau_{yz}^t \frac{\partial \langle u_y \rangle}{\partial z} + \tau_{zy}^t \frac{\partial \langle u_z \rangle}{\partial y}.
 \end{aligned} \tag{14}$$

По стандартной k-epsilon модели уравнения, определяющие кинетическую энергию турбулентности и скорость ее диссипации, имеют вид [9]:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial(\rho \langle u_x \rangle k)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho \langle u_y \rangle k)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \langle u_z \rangle k)}{\partial z} = G - \rho \varepsilon + \\
 + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\rho(v+v_a)}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\rho(v+v_a)}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\rho(v+v_a)}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z} \right); \\
 \frac{\partial(\rho \langle u_x \rangle \varepsilon)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho \langle u_y \rangle \varepsilon)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \langle u_z \rangle \varepsilon)}{\partial z} = C_1 \frac{\varepsilon}{k} G - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + C_3 \frac{G^2}{\rho k} + \\
 + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\rho(v+v_a)}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\rho(v+v_a)}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\rho(v+v_a)}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right).
 \end{aligned} \tag{15}$$

где типовые значения эмпирических констант  $C_v = 0,09$ ,  $\sigma_k = 1,0$ ,  $\sigma_\varepsilon = 1,3$ ,  $C_1 = 1,43$ ,  $C_2 = 1,92$ ,  $C_3 = 0$  (в модифицированной модели  $C_3 = 0,25$ ).

Модель k-epsilon турбулентности уже достаточно апробирована для решения широкого круга задач. Такая модель использовалась для расчета отрывных турбулентных пограничных слоев в задачах внешнего обтекания, для течений в круглых каналах с теплопередачей, для плоских и круглых струй.

Можно с уверенностью сказать, что данная модель наиболее широко применяется в инженерных расчетах по сравнению с остальными. Для большинства турбулентных течений результаты расчетов с использованием k-epsilon модели дают наиболее точные результаты, благодаря учету предыстории течения при определении параметров турбулентного потока.

Кроме упомянутых моделей турбулентности также существуют так называемые модели рейнольдсовых напряжений (иногда их называют моделями с уравнением для напряжений), в которых не предполагают, что турбулентные напряжения пропорциональны средней скорости деформации. В настоящее время эти модели широко используются скорее как инструмент или предмет в исследованиях турбулентности, нежели как средство решения инженерных задач.

В моделях рейнольдсовых напряжений отсутствует ограничение, накладываемое принятием гипотезы Буссинеска о связи

турбулентных напряжений со средней скоростью деформации, зато они содержат наибольшее количество уравнений и констант. На данный момент эти модели находятся еще в стадии разработки, и нуждаются в усовершенствовании для использования в инженерных расчетах.

Таким образом, в настоящее время наиболее обоснованной для расчета аэродинамических характеристик технических систем является k-epsilon модель, как с точки зрения точности получаемых результатов, так и возможности применения в практических расчетах с использованием численных методов.

Примером может быть моделирование течения в вентиляционных системах, где также может использоваться метод «лестницы моделей» и модели k-epsilon и RSM для учета турбулентных потоков внутри вентиляционных каналов [6, 8].

Другой распространенной моделью является модель Reynolds Stress. Она основана на уравнениях Навье-Стокса, которые учитывают момент, массу и энергию течения газа, но с добавлением уравнения Reynolds Stress, т.е. тензора, который описывает взаимодействие между турбулентными вихрями и средним течением газа.

Существуют другие модели, такие как модель каскада Ричардсона-Колмогорова, модель Large Eddy Simulation (LES) и др. Каждая модель имеет свои особенности и применяется в зависимости от конкретной задачи и условий ее решения.

Также можно применять модели, специально адаптированные к конкретному типу задачи, например, LES для моделирования взаимодействия турбулентных потоков и пламени при горении или модель SST (Shear Stress Transport) для моделирования течений с высокими градиентами скорости.

Некоторые модели могут быть более подходящими для определенных условий, например, модель Reynolds Stress может быть более эффективной при моделировании течений с высокими градиентами скорости, тогда как модель k-epsilon может быть лучшим выбором для низких градиентов скорости.

Выбор модели турбулентности зависит от многих факторов, таких как тип задачи, характеристики течения, доступность вычислительных ресурсов и точность, которую необходимо достичь. Некоторые модели более точны, но требуют большего объема вычислительных ресурсов, в то время как другие менее точны, но могут быть использованы на менее мощных компьютерах.

Одним из наиболее распространенных подходов является использование моделей с различными уровнями детализации, начиная с более простых моделей и переходя к более сложным, если это необходимо для достижения требуемой точности, т.е. методом «лестницы моделей» или RANS/LES [3, 6].

В целом, выбор модели турбулентности требует анализа специфики конкретной задачи и сравнения различных моделей в зависимости от требуемой точности, доступных ресурсов и времени расчета.

## ВЫВОДЫ

Выбор теории турбулентности для конкретных случаев зависит от ряда факторов, включая характеристики потока, доступные данные, требования к точности и вычислительные возможности. Вот некоторые критерии, которые могут помочь выбрать подходящую теорию турбулентности:

Режим потока: для низкоскоростных потоков с малыми градиентами давления можно использовать простые модели турбулентности, такие как модель k-epsilon. Для высокоскоростных потоков с большими градиентами давления может потребоваться более сложная модель турбулентности, например, модель Reynolds Stress.

Физические свойства потока: некоторые теории турбулентности могут быть более подходящими для определенных типов потоков, например, теория развитой турбулентности может быть более эффективной для неоднородных потоков с большим числом масштабов.

Доступные данные: для некоторых приложений может быть доступно ограниченное количество экспериментальных данных. В таких случаях может потребоваться использование моделей турбулентности, которые могут быть более

простыми и менее точными, но имеют меньшую чувствительность к данным.

Точность: в некоторых приложениях может потребоваться высокая точность, например, в аэродинамике для расчета аэродинамических характеристик летательных аппаратов. В таких случаях может потребоваться использование более сложных моделей турбулентности, которые могут обеспечить более точные результаты.

Вычислительные возможности: для расчетов больших потоков с большим числом масштабов может потребоваться использование параллельных вычислительных систем и более быстрых алгоритмов. В таких случаях может быть необходимо использование более простых моделей турбулентности или использование адаптивных сеток.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй / Г.Н. Абрамович – М.: ЭКОЛИТ, 2011. – 720 с.
2. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. Т.2. / Д. Андерсон, Дж. Таннехилл, Р. Плетчер. – М.: Мир, 1990. – 392 с.
3. Аэрогидромеханика / А.А. Коваленко, В.И. Соколов, Ю.И. Осенин и [др.]. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2009. – 516 с.
4. Брэдшоу П. Введение в турбулентность и ее измерение / П. Брэдшоу. – М.: Мир, 1974. – 279 с.
5. Зимин В.Д. Турбулентная конвекция / В.Д. Зимин, П.Г. Фрик. – М.: Наука, 1988. – 173 с.
6. Идельчик И.Е. Аэрогидродинамика технологических аппаратов (Подвод, отвод и распределение потока по сечению аппаратов) / И.Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1983. – 351 с.
7. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. – М.: Наука, 1978. – 735 с.
8. Основы механики сплошных сред / Недопекин Ф.В., Коваленко А.А., Соколов В.И., Андрийчук Н.Д., Гусенцова Я.А. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2010. – 377 с.
9. Рейнольдс А.Дж. Турбулентные течения в инженерных приложениях Пер. с англ./ А. Дж. Рейнольдс. – М.: Энергия, 1979. – 408 с.
10. Соколов В.И. Аэродинамика газовых потоков сложных вентиляционных систем/ В.И. Соколов. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 1999. – 200 с.
11. Хинце И.О. Турбулентность. Ее механизм и теория / И.О. Хинце. – Москва.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1963. – 680 с.
12. Batchelor G.K. The Theory of Homogeneous Turbulence. Cambridge University Press, 1982. – 212 p.

## REFERENCES

1. Abramovich G.N. Teoriya turbulentny`x struj / G.N. Abramovich - M.: E`KOLIT, 2011. - 720 s.
2. Anderson D. Vy`chislitel`naya gidromexanika i teploobmen. T.2. / D. Anderson, Dzh. Tannexill, R. Pletcher. – M.: Mir, 1990. – 392 s.
3. Ae`rogidromexanika / A.A. Kovalenko, V.I. Sokolov, Yu.I. Osenin i [dr.]. – Lugansk: Izd-vo VNU im. V. Dalya, 2009. - 516 s.
4. Bre`dshou P. Vvedenie v turbulentnost` i ee izmerenie / P. Bre`dshou. - M.: Mir, 1974. - 279 s.
5. Zimin V.D. Turbulentnaya konvekciya / V.D. Zimin, P.G. Frik. - M.: Nauka, 1988. - 173 s.
6. Idel`chik I.E. Ae`rogidrodinamika texnologicheskix apparatov (Podvod, otvod i raspredelenie potoka po secheniyu apparatov) / I.E. Idel`chik. □ M.: Mashinostroenie, 1983. - 351 s.
7. Lojczyanskij L.G. Mexanika zhidkosti i gaza/ L.G. Lojczyanskij. – M.: Nauka, 1978. – 735 s.
8. Osnovy` mexaniki sploshny`x sred / Nedopekin F.V., Kovalenko A.A., Sokolov V.I., Andrijchuk N.D., Gusenczova Ya.A. - Lugansk: Izd-vo VNU im. V. Dalya, 2010. - 377 s.
9. Rejno`ds A.Dzh. Turbulentny`e techeniya v inzhenerny`x prilozheniyax Per. s angl./ A. Dzh. Rejno`ds. – M.: E`nergiya, 1979. – 408 s.
10. Sokolov V.I. Ae`roodinamika gazovy`x potokov slozhny`x ventilyacionny`x sistem/ V.I. Sokolov. – Lugansk: Izd-vo VNU im. V.Dalya, 1999. – 200 s.
11. Xince I.O. Turbulentnost`. Ee mexanizm i teoriya / I.O. Xince. - Moskva.: Gosudarstvennoe izdatel`stvo fiziko-matematicheskoy literatury`, 1963. - 680 s.
12. Batchelor G.K. The Theory of Homogeneous Turbulence. Cambridge University Press, 1982. - 212 p.

## TURBULENCE MODELS IN CALCULATIONS OF AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF GAS FLOWS

Gusentsova<sup>1</sup> Ya., Krasnogradov<sup>2</sup> A., Rodygina<sup>3</sup> M., Vysotskaya N.

<sup>1-3</sup>Lugansk Vladimir Dahl State University

E-mail: <sup>1</sup>gusentsova@gmail.com, <sup>2</sup>krasnogradov@mail.ru, <sup>3</sup>sunsara\_06@mail.ru

<sup>3</sup>V.I. Vernadsky Crimean Federal University, 295492, Republik of Crimea, Simferopol.

E-mail: natali.v-v@mail.ru

**Abstract.** The review of the most common turbulence models in engineering calculations, which allow approximate description of turbulent flows using the Reynolds equations of motion, is carried out, and their areas of application are shown. To calculate turbulent flows by solving the Reynolds equations, a closure hypothesis is adopted for apparent turbulent stresses and other variables included in the equations.

It is noted that Businex is considered one of the main ones, which is confirmed by experimental studies of turbulence, which show that the turbulent flow is characterized by the presence of an energy cascade from large to smaller scales.

In addition, the authors considered: the semi-empirical Prandtl theory based on the assumption that turbulent motion consists of an infinite number of vortices of various scales that interact with each other and transfer energy from large scales to smaller ones, models specially adapted to a specific type of problem, for example, LES for modeling the interaction of turbulent flows, a generalized theory of developed turbulence (GDT, Generalized Theory of Turbulence), which is a theory, developed for the description and simulation of turbulent flows in various technical devices.

It is proved that one of the most common approaches is to use models with different levels of detail, starting with simpler models and moving on to more complex ones, if necessary to achieve the required accuracy. This approach is called the "ladder of models" or RANS/LES method.

**Subject of research:** turbulence models for calculating aerodynamic characteristics of gas flows.

**Materials and methods:** the basis of the performed research is a number of scientific works of domestic and foreign researchers in this field and the results obtained by the authors in the course of the work.

A systematic approach is used, meaning consideration and study of the object of research as an integrated system consisting of many interrelated elements.

**Results:** The authors note that one of the most common approaches is to use models with different levels of detail, starting with simpler models and moving on to more complex ones if necessary to achieve the required accuracy. This approach is called the "ladder of models" or RANS/LES method.

**Conclusions:** The choice of a turbulence model for specific cases depends on a number of factors, including flow characteristics, available data, accuracy requirements and computational capabilities. The selection criteria include: physical properties and flow mode; the degree of accuracy of calculations and calculation capabilities.

**Key words:** turbulence, turbulence model, fields of application, k-epsilon model, Besinesk model, "ladder of models".

## ВЛИЯНИЕ ОТКАЗА РАБОТЫ ОБЛИЦОВОЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ НА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАВЕСНЫХ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Шуршилин<sup>1</sup> Е.А., Олехнович<sup>2</sup> Я.А.<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,  
Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29,<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Санкт-петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, ул.  
Политехническая, 29,  
e-mail: <sup>1</sup>shurshilin.ea@edu.spbstu.ru, <sup>2</sup>olehnovich\_yaa@spbstu.ru

**Аннотация:** Одним из наиболее распространенных решений для наружных ограждающих стеновых конструкций являются навесные вентилируемые фасадные конструкции, которые благодаря использованию воздушных прослоек обеспечивают повышенную энергоэффективность. Однако такие системы имеют ряд недостатков, включая образование мостиков холода в местах крепления фасадных панелей, что может привести к значительным проблемам в работе системы. Кроме того, известно, что отдельные фасадные панели могут падать и отказывать в работе, что приводит к нарушению замкнутости воздушной прослойки и негативно влияет на теплотехнические свойства конструкции. Поэтому необходимо учитывать как недостатки самой конструкции фасада, так и проблемы, связанные с его эксплуатацией, чтобы правильно оценить влияние отказа работы фасадных панелей на теплотехнические свойства конструкции в целом. Эта проблема является одной из важнейших для систем навесных вентилируемых фасадов, так как может привести к полной потере теплотехнических свойств конструкции. В данном исследовании рассматривается теоретическое решение задачи по расчёту сопротивления теплопередаче воздушных прослоек в навесных вентилируемых фасадных конструкциях и организация этого решения в последовательную расчётную методику для дальнейшего исследования влияния падения облицовочных панелей на теплотехнические свойства навесных вентилируемых фасадов. Основным вопросом исследования, состоящий в оценке влияния отказа работы облицовочных панелей на теплотехнические свойства навесных вентилируемых фасадных конструкций, рассматривается согласно положениям разработанной методики и последующего её математического анализа. Необходимость такого исследования обосновывается потребностью в определении наиболее эффективных способов устранения недостатков навесных вентилируемых фасадных конструкций и повышения их теплотехнических свойств.

**Материалы и методы:** анализ научно-технической литературы, математический анализ зависимости сопротивления теплопередаче воздушных прослоек от геометрических параметров сооружения.

**Предмет исследования:** воздушные прослойки в навесных вентилируемых фасадных конструкциях.

**Результаты:** получены математические зависимости, позволяющие оценить изменение влажности материала теплоизоляции навесных фасадных систем, скорости воздуха в воздушной прослойке и температуры воздуха в воздушной прослойке при отказе работы облицовочных панелей.

**Выводы:** отказ работы облицовочных панелей навесных фасадных систем приводит к изменению влажности теплоизоляции и параметров воздушной прослойки, что может привести к превышению нормативных требований.

**Ключевые слова:** энергоэффективность зданий и сооружений, навесные вентилируемые фасады, наружные ограждающие конструкции зданий и сооружений, теплотехнический расчёт зданий и сооружений, замкнутость воздушных прослоек.

## ВВЕДЕНИЕ

Фасадные конструкции с вентилируемыми воздушными прослойками являются одним из самых популярных конструктивных решений наружных ограждающих конструкций (стен). Благодаря использованию воздушных прослоек существенно повышаются её энергоэффективность за счёт работы воздуха в замкнутой прослойке как эффективного теплоизолирующего материала. Тем не менее, несмотря на эффективность таких систем, в их конструкции существуют существенные недостатки. Одной из уже отмеченных и признанных крупных уязвимостей является образование мостиков холода в местах крепления фасадных панелей к конструкции с помощью дюбелей. Доказано, что такие системы сами по себе являются теплотехнически неоднородными, для чего в СП 50.13330 «Тепловая защита зданий» введён специальный коэффициент теплотехнической неоднородности, учитывающий

граничные условия и недостатки работы вентилируемых фасадов. Однако помимо учёта недостатков самой конструкции фасада, необходимо учитывать недостатки, проявляющиеся во время эксплуатации фасадных панелей. Так, известна проблема падения и отказа работы отдельных панелей вентилируемого фасада. Несмотря на возможность быстрой их замены, нельзя не учитывать определённые проблемы технологических процессов этой операции, потому реальное время замены отпавших панелей может занять время куда большее, чем заявленное теоретическое время замены. Следовательно, нельзя не учитывать влияние отказа работы отдельных фасадных панелей на теплотехнические свойства конструкции, потому как на определенное, достаточно длительное время, воздушная прослойка вентилируемого фасада теряет свою замкнутость и последствия для всей конструкции могут быть необратимы, поэтому существует актуальная проблема оценки влияния отказа работы фасадных

панелей на теплотехнические свойства конструкции вентилируемого фасада в целом.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Современная строительная теплофизика полностью описывает процессы теплопередачи в ограждающих конструкциях с вентилируемыми воздушными прослойками. Научные исследования и работы, посвященные теплофизическим свойствам вентилируемых фасадов, в большинстве своем направлены на поиск конструктивных уязвимостей таких систем. Например, существенное количество научных работ посвящено изучению т. н. «мостиков холода», создаваемых элементами крепления фасадных панелей к внутреннему пирогу стены (кронштейнами). Однако малоизученным остается вопрос влияния отказа фасадных панелей на теплофизику всей фасадной системы. Практическая ценность существующей научно-технической литературы для данного исследования состоит в использовании имеющегося теоретического и практического базиса для решения поставленной проблемы.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Первый этап исследования заключается в изложении существующих математических моделей теплопередачи в ограждающих конструкциях, что позволит совместить уже имеющиеся данные и на их основе проанализировать отказ работы фасадных панелей с точки зрения теплофизических свойств целой конструкции вентилируемого фасада. Второй этап исследования состоит в получении конкретных математических зависимостей, описывающих поведение вентилируемых фасадных систем в случае отказа отдельных панелей.

## ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ

Под отказом работы облицовочной панели НФС будем понимать ситуацию, в которой по тем или иным причинам крепление облицовочной панели к остальным слоям конструкции нарушается и панель отпадает от конструкции (см рис. 1.). Параметры  $b$  и  $h$  на рисунке 1 – геометрические параметры облицовочной панели.

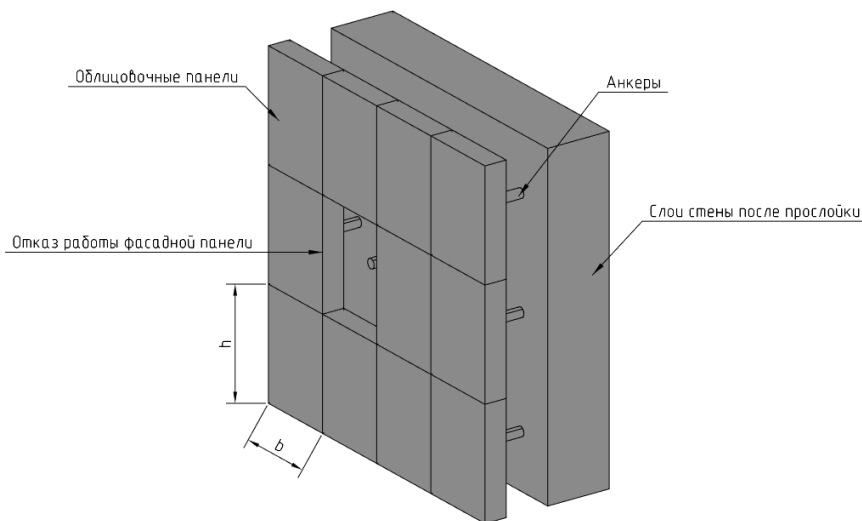


Рис. 1. Схема НФС после отказа работы фасадной панели  
Fig. 1. The scheme of the NFS after the failure of the facade panel

Из рис. 1 очевидно, что поставленная задача сводится к рассмотрению влияния возникающей в конструкции брешы габаритами  $b \times h$ . Ключевыми факторами здесь являются температурный и влажностный режим конструкции.

### Одномерное температурное поле многослойной ограждающей конструкции

В общем случае, любая стеновая ограждающая конструкция является набором  $i$  числа слоёв, обладающих собственными показателями сопротивления теплопередачи  $R_i$ , которые в сумме и составляют собой сопротивление теплопередаче конструкции  $R_0$ . Сопротивление теплопередаче есть

отношение толщины слоя  $\delta$  к теплопроводности материала  $\lambda$ :

$$R = \frac{\delta}{\lambda}; \quad (1)$$

При этом следует отметить, что воздушная прослойка в ограждающей конструкции обладает отличными от других слоёв конструкции теплофизическими свойствами и, соответственно, имеет смысл выделять сопротивление теплопередаче воздушной прослойки  $R_{в.п.}$  в отдельную переменную, так как совершенно очевидно, что сопротивление теплопередаче воздушной прослойки нельзя описывать идентично

сопротивлениям теплопередачи твердотельных слоёв конструкции. Учитывая теплообмен, происходящий на внутренней ( $R_e$ ) и наружной ( $R_n$ ) поверхностях конструкции, сопротивление теплопередаче конструкции описывается как:

$$R_0 = R_e + \sum R_i + R_{e.n.} + R_n; \quad (2)$$

Распределение температуры (температурное поле) в ограждающей конструкции определяется по формуле:

$$t_x = t_e - \frac{R_{e-x}}{R_0} (t_e - t_n); \quad (3)$$

Графическая интерпретация выражения (3) представлена на рисунке 2.

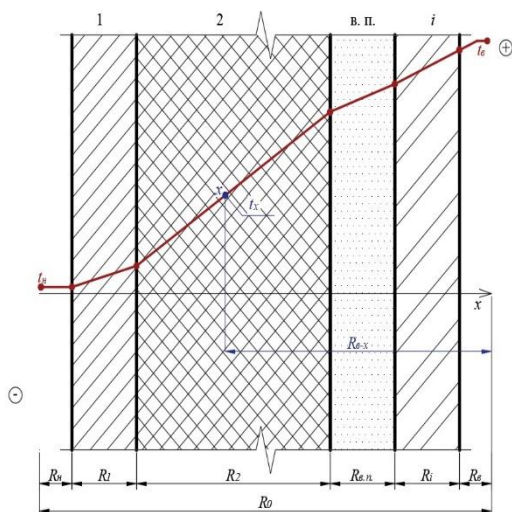


Рис. 2. Одномерное температурное поле многослойной ограждающей конструкции [1]

Fig. 2. One-dimensional temperature field of a multilayer enclosing structure

### Термическое сопротивление воздушной прослойки в навесной фасадной системе

Для понимания влияния отказа работы фасадных панелей на теплотехнические свойства фасадных конструкций необходимо рассмотреть вопрос теплофизического расчета навесных фасадных систем.

$$R_{e.n.} = \frac{1}{\alpha_{e.n.}}, \quad (4)$$

где  $\alpha_{e.n.}$  - коэффициент теплообмена в прослойке, согласно приложению Л СП 50.13330.2012 определяется как:

$$\alpha_{e.n.} = \alpha_{np} = \alpha_k + 2\alpha_l, \text{ где} \quad (5)$$

$\alpha_k$  - конвективный коэффициент теплоотдачи;

$\alpha_l$  - лучистый коэффициент теплоотдачи;

Конвективный коэффициент теплоотдачи определяется по формуле Л.7 СП 50.13330.2012:

$$\alpha_k = 7,34 \cdot (V_{np})^{0,656} + 3,78 \cdot \exp(-1,91 \cdot V_{np}), \quad (6)$$

где

$V_{np}$  - скорость воздуха в воздушной прослойке, определяемый согласно формуле Л.2 СП 50.13330.2012:

$$V_{np} = \sqrt{\frac{K(K_n - K_z)V_n^2 + 0,08h(t_{np} - t_n)}{\sum_j \xi_j}}, \text{ где} \quad (7)$$

$K_n, K_z$  - аэродинамические коэффициенты на разных стенах здания, определяются по СП 20.13330 «Нагрузки и воздействия»;

$V_n$  - скорость движения наружного воздуха;

$K$  - коэффициент учета скорости потока по высоте;

$h$  - наибольшая высота непрерывной воздушной прослойки;

$t_{np}$  и  $t_n$  - средняя температура воздуха в прослойке и температура наружного воздуха соответственно;

$\sum_j \xi_j$  - суммарный коэффициент местного сопротивления, определяемый по формуле:

$$\sum_j \xi_j = 1,2 \cdot \left(\frac{S_{np}}{S_{ex}}\right)^2 + 0,04 \cdot \frac{h}{2\delta_{np}} + 1,2 \cdot \left(\frac{S_{np}}{S_{вых}}\right)^2, \quad (8)$$

где

$S_{np}$  - площадь сечения воздушной прослойки на один погонный метр стены;

$S_{ex}$  и  $S_{вых}$  - площади входного и выходного отверстий, приходящиеся на один погонный метр стены;

$\delta_{np}$  - толщина воздушной прослойки.

Лучистый коэффициент теплообмена определяется по формуле:

$$\alpha_l = \frac{m}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_0}}, \text{ где} \quad (9)$$

$C_0$  - коэффициент излучения абсолютно черного тела, равный 5,77 Вт/(м<sup>2</sup>К<sup>4</sup>);

$C_1$  и  $C_2$  - коэффициенты излучения поверхностей перед прослойкой и после прослойки соответственно, принимаются по приложению Л СП 50.13330.2012;

$m$  - температурный коэффициент, определяемый по формуле:

$$m = 0,04 \cdot \left(\frac{273 + t_{np}}{100}\right)^3; \quad (10)$$

Согласно СП 50.13330.2012 температурный коэффициент определяется один раз для температуры на 1 °С большей, чем температура наружного воздуха ввиду его малого изменения при варьировании температуры прослойки, потому

коэффициент лучистого теплообмена, очевидно, является такой же постоянной величиной. Таким образом, можно заключить, что ключевыми параметрами для определения термического сопротивления навесного вентилируемого фасада с учетом прослойки являются скорость и температура воздуха в прослойке.

При расположении приточных и вытяжных каналов навесной фасадной системы на одной стене аэродинамические коэффициенты принимаются равными, и формула упрощается (формула Л.3 СП 50.13330.2012):

$$V_{np} = \sqrt{\frac{0,08h(t_{np} - t_n)}{\sum_j \xi_j}}; \quad (11)$$

Средняя температура воздуха в прослойке определяется по формуле Л.4 СП 50.13330 и равна соответственно:

$$t_{np} = t_0 - (t_0 - t_n) \cdot \frac{x_0}{h} \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{h}{x_0}\right) \right], \text{ где} \quad (12)$$

$$t_0 = \frac{\frac{t_e}{R_e} + \frac{t_n}{R_n}}{\frac{1}{R_e} + \frac{1}{R_n}} \quad (13)$$

- предельная температура воздуха в прослойке;

$$x_0 = \frac{c_e V_{np} \delta_{np} \rho_e}{\frac{1}{R_e} + \frac{1}{R_n}} \quad (14)$$

- такая высота, при которой средняя температура воздуха в прослойке отличается от предельной ровно в  $e$  раз.

Согласно СП 345.1325800.2017 значение скорости воздуха в прослойке можно рассчитать приближенно по формуле:

$$\tilde{V}_{np} = \sqrt{\frac{0,08h}{\sum_j \xi_j} \cdot \sqrt{\frac{R_n}{R_e}} \cdot (t_n - t_e)}; \quad (15)$$

Описанные зависимости позволяют произвести расчет температурного и влажностного режима навесной фасадной конструкции и провести проверки на соответствие нормативным требованиям. В рамках методики СП 50.13330.2012 также подразумевается проверка НФС на переувлажнение материала утеплителя на величину предельного приращения влажности утеплителя  $\Delta w, \%$ .

### Изменение влажности материала при отказе работы облицовочной панели

Очевидно, что при отказе работы фасадной панели возникает существенное изменение температуры воздуха внутри прослойки. Так, в непосредственно зоне отказа панели температура воздуха изменится до температуры наружного воздуха  $t_n$ . Докажем, что это будет иметь влияние на влажность материала теплоизоляции и, следовательно, на его теплофизические свойства. Влажность материала можно определить как:

$$w = U \cdot \frac{\rho_m}{\rho_{ж}}, \text{ где} \quad (16)$$

$\rho_m$  и  $\rho_{ж}$  - плотность материала и плотность воды соответственно;

$U$  - влагосодержание материала, определяется по формуле:

$$U(t) = U(t = 20^\circ\text{C}, \varphi) \times \left[ 1 - 0,002 \cdot (t - 20) \cdot e^{2,8} \cdot (1 - \varphi) \right] \quad (17)$$

где  $U(t = 20^\circ\text{C}, \varphi)$  - влагосодержание материала при температуре воздуха  $20^\circ\text{C}$  и влажности наружного воздуха  $\varphi$ .

$t$  - температура воздуха, для которой ведется расчёт;

В контексте эксплуатации зданий и сооружений процессы влагопереноса происходят нелинейно и могут быть описаны как изотермический влагоперенос в неограниченной пластине толщиной  $\delta$ . Тогда влагосодержание материала является функцией времени  $\tau$ . Практический смысл времени  $\tau$  заключается в рамках данной задачи в промежутке времени между моментом отказа работы облицовочной панели и её последующей замены. Среднее значение влагосодержания по толщине изоляции во времени описывается выражением:

$$u_v(\tau) = \theta \cdot [u_v(x = \delta) - u_v(\tau = 0)] + u_v(\tau = 0), \text{ где}$$

$u_v(x = \delta) = U(t)$  - влагосодержание материала на поверхности контакта с воздухом. В контексте поставленной задачи является функцией температуры воздуха;

$u_v(\tau = 0) = U(t = t_{нач}) = U_{нач} = const$  - влагосодержание материала в нулевой момент времени  $\tau$ . В контексте задачи эту величину можно трактовать как влагосодержание материала утеплителя до отказа работы фасадной панели;

$\theta = 1 - \frac{8}{\pi} \exp\left(-\frac{\pi^2}{4} \cdot Fo_m\right)$  - безразмерный коэффициент, зависящий от значения массообменного критерия Фурье;

$Fo_m = \frac{D \cdot \tau_{увл}}{\delta^2}$  - массообменный критерий Фурье,

зависящий от постоянных параметров материала  $D$  и  $\delta$  - коэффициента диффузии парообразной влаги и толщины изоляции соответственно, и времени увлажнения  $\tau_{увл}$ ;

С учётом уточнений параметров  $u_v(x = \delta)$  и  $u_v(\tau = 0)$  выражение примет вид:

$$u_v(\tau, t) = \theta(\tau) \cdot [U(t) - U_{нач}] + U_{нач}; \quad (18)$$

**Влияние отказа работы облицовочных панелей на температурный и влажностный режим НФС**

Рассмотрим двумерное представление модели, представленной на рис. 1, при котором в момент времени, очень близком к  $\tau = 0$ , происходит отказ работы одной из облицовочных панелей НФС, состоящей из системы  $N$  таких панелей по высоте здания с размерами  $b \times h_n$ . В этом случае единая система НФС делится на три зоны:

Зона 1 - зона ниже отказа работы высотой:

$$h_1 = N_1 h_n;$$

Зона 2 - Зона выше отказа работы высотой:

$$h_2 = N_2 h_n;$$

Зона 3 - Зона отказа работы высотой:

$$h_3 = h_n;$$

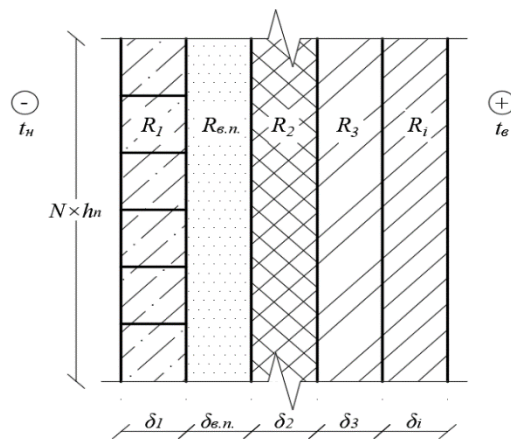


Рис. 3. Схема конструкции  
Fig. 3. Design diagram

Значения высот всех трёх зон объединены следующими условиями:

$$N_1 + N_2 + 1 = N; \quad (19)$$

$$h_1 + h_2 + h_3 = h; \quad (20)$$

В зоне 1 и зоне 2 продолжают функционировать воздушные прослойки, но произошло изменение параметра  $h$ . На примере зоны 1 (т. к. в сущности обе зоны будут вести себя одинаково) значение высоты изменяется в  $\frac{N_1}{N}$  раз. Очевидное воздействие это

оказывает на выражение (8) в части непосредственного изменения высоты  $h$  и площади отверстия выхода (или входа для зоны 2)  $S_{вых}$ . Если начальное значение площади отверстия выхода  $S_{вых}^{нач}$  из опыта проектирование имеет размерность квадратных сантиметров (от 50 см<sup>2</sup> на погонный метр), то после отказа работы фасадной панели, зона 2 становится для зоны 1 отверстием выхода воздуха из прослойки с площадью на погонный метр:

$$S_{вых} = \frac{b \cdot h_n}{L}, \quad \text{где} \quad (21)$$

$L$  – протяженность фасада.

Параметр  $b$  из опыта проектирования имеет размерности десятых долей метра, значения высоты панели  $h_n$  может достигать (и даже превышать) 1 м. Таким образом, значение площади отверстия выхода изменяется в

$$\frac{S_{вых}}{S_{вых}^{нач}} = \frac{b \cdot h_n}{L \cdot S_{вых}^{нач}};$$

Тогда выражение (8) принимает вид:

$$\sum_j \xi_j = 1,2 \cdot \left( \frac{S_{np}}{S_{ex}} \right)^2 + 0,04 \cdot \frac{N_1 h_n}{2 \delta_{np}} + 1,2 \cdot \left( \frac{S_{np} \cdot S_{вых}^{нач}}{L} \cdot b \cdot h_n \right)^2, \quad \text{где} \quad (22)$$

Из выражения (21) очевидно, что местные потери существенно возрастают по сравнению с начальными и слагаемые  $1,2 \cdot \left( \frac{S_{np}}{S_{ex}} \right)^2$  и  $0,04 \cdot \frac{h}{2 \delta_{np}}$  становятся на несколько порядков меньше других множителей, потому, пренебрегая ими, оценим отношение начальных местных сопротивлений к конечным:

$$\frac{\sum_j \xi_j}{\sum_j \xi_j^{нач}} \approx \frac{1,2 \cdot \left( \frac{S_{np} \cdot S_{вых}^{нач}}{L} \cdot b \cdot h_n \right)^2}{1,2 \cdot \left( \frac{S_{np}}{S_{вых}^{нач}} \right)^2} = \left( \frac{b \cdot h_n \cdot S_{вых}^{нач}}{L \cdot S_{np}} \right)^2 \quad (23)$$

Тогда согласно (15) можно выразить изменение скорости воздуха в воздушной прослойке:

$$\frac{\tilde{V}_{np}}{\tilde{V}_{np}^{нач}} = \sqrt{\frac{h_1 \times \sum_j \xi_j^{нач}}{h \times \sum_j \xi_j}} = \sqrt{\frac{h_1}{h}} \times \frac{L \cdot S_{np}}{b \cdot h_n \cdot S_{вых}}; \quad (24)$$

По выражениям (12), (14) и (24) получим изменение температуры воздуха в прослойке:

$$\frac{t_{np}}{t_{np}^{нач}} = \left( \frac{x_0}{h_1} \div \frac{x_0^{нач}}{h} \right) \cdot \frac{1 - \exp\left(-\frac{h_1}{x_0}\right)}{1 - \exp\left(-\frac{h}{x_0^{нач}}\right)} = \frac{\tilde{V}_{np}}{\tilde{V}_{np}^{нач}} \cdot \frac{h}{h_1} \cdot \frac{1 - \exp\left(-\frac{h_1}{x_0}\right)}{1 - \exp\left(-\frac{h}{x_0^{нач}}\right)} = \sqrt{\frac{h}{h_1}} \times \frac{L \cdot S_{np}}{b \cdot h_n \cdot S_{вых}} \cdot \frac{1 - \exp\left(-\frac{h_1}{x_0}\right)}{1 - \exp\left(-\frac{h}{x_0^{нач}}\right)}; \quad (25)$$

Выражения (24) и (25) позволяют оценить падение значений температуры и скорости воздуха в воздушной прослойке, что приводит к изменению её теплотехнических свойств и влажностного режима конструкции.

Оценим изменение влажности материала теплоизоляции, основываясь на полученных выражениях.

Влагосодержание материала в начальный момент времени  $\tau = 0$ :

$$U_{нач} = U(t = 20^\circ C, \varphi) \times [1 - 0,002 \cdot (t_{np}^{нач} - 20) \cdot e^{2,8} \cdot (1 - \varphi)]; \quad (26)$$

Влагосодержание материала на поверхности контакта с воздухом в момент времени  $\tau = \tau_{увл}$ :

$$U(t) = U(t = 20^\circ C, \varphi) \times [1 - 0,002 \cdot (t_{np} - 20) \cdot e^{2,8} \cdot (1 - \varphi)]; \quad (27)$$

Вычитая (26) из (27), получим:

$$U(t) - U_{нач} = 0,002 \cdot e^{2,8} \cdot (1 - \varphi) \cdot U(t = 20^\circ C; \varphi) \cdot (t_{np}^{нач} - t_{np}); \quad (28)$$

После преобразования разности температур по формуле (25) получим:

$$U(t) - U_{нач} = 0,002 \cdot e^{2,8} \cdot (1 - \varphi) \cdot U(t = 20^\circ C; \varphi) \cdot t_{np}^{нач} \left[ 1 - \sqrt{\frac{h_1}{h}} \times \frac{b \cdot h_n \cdot S_{вых}^{нач}}{L \cdot S_{np}} \times \frac{1 - \exp\left(-\frac{h}{x_0^{нач}}\right)}{1 - \exp\left(-\frac{h_1}{x_0}\right)} \right]; \quad (29)$$

Применяя (26), (27) и (29) к (18) получим среднее влагосодержание материала в зоне 1 после отказа работы облицовочной панели:

$$u_v(\tau, t) = U(t = 20^\circ C, \varphi) \times \left[ 0,002 \times e^{2,8} \times (1 - \varphi) \times t_{np}^{нач} \times \left( \theta(\tau) \times \left( 1 - \sqrt{\frac{h_1}{h}} \times \frac{b \cdot h_n \cdot S_{вых}^{нач}}{L \cdot S_{np}} \times \frac{1 - \exp\left(-\frac{h}{x_0^{нач}}\right)}{1 - \exp\left(-\frac{h_1}{x_0}\right)} \right) - 1 \right) + 1 \right]; \quad (30)$$

Основываясь на выражении (30), можно оценивать изменение влажности материала теплоизоляции  $w$  в любой момент времени после отказа работы облицовочной панели в зоне 1 или зоне 2 (при смене в выражении (30) начальной площади выходного отверстия на площадь входного отверстия).

Рассмотрим теперь влажность материала теплоизоляции непосредственно в зоне отказа работы (зона 2). В зоне 2 происходит понижение температуры воздуха до значения  $t_n$ . Тогда, если в начальный момент времени влагосодержание теплоизоляции:

$$U_{нач} = U(t = 20^\circ C, \varphi) \times [1 - 0,002 \cdot (t_{np}^{нач} - 20) \cdot e^{2,8} \cdot (1 - \varphi)]; \quad (31)$$

То после отказа работы облицовочной панели влагосодержание в зоне контакта с воздухом:

$$U(t) = U(t = 20^\circ C, \varphi) \times [1 - 0,002 \cdot (t_n - 20) \cdot e^{2,8} \cdot (1 - \varphi)]; \quad (32)$$

Вычитая (31) из (32):

$$U(t) - U_{нач} = 0,002 \cdot e^{2,8} \cdot (1 - \varphi) \cdot U(t = 20^\circ C; \varphi) \cdot (t_{np}^{нач} - t_n); \quad (33)$$

Применяя (31), (32) и (33) к (18) получим среднее влагосодержание материала в зоне 2 после отказа работы облицовочной панели:

$$u_v(\tau, t) = U(t = 20^\circ\text{C}; \varphi) \cdot \left[ \theta(\tau) \cdot \left( 0,002 \cdot e^{2,8} \cdot (1 - \varphi) \cdot (t_{np}^{нач} - t_n) \right) + 1 - 0,002 \cdot (t_{np}^{нач} - 20) \cdot e^{2,8} \cdot (1 - \varphi) \right]; \quad (34)$$

Основываясь на формулах (34) и (33), можно проводить проверки и расчеты на превышение предельного приращение влажности теплоизоляции  $\Delta w, \%$  в соответствии с требованиями таблицы 10 СП 50.13330.

## ВЫВОДЫ

Приведённые в исследовании математические зависимости позволяют оценить изменение влажности материала теплоизоляции после отказа работы облицовочных панелей, изменение скорости воздуха и температуры воздуха в зонах прослойки, которые продолжают функционировать после отказа работы облицовочной панели:

1. Зависимости (30) и (34) показывают изменение влажности после отказа работы облицовочной панели. Отметим, что данные зависимости были получены при сценарии падения только одной облицовочной плиты и, в сущности, являются приближенными зависимостями, т. к. основаны на расчете по приближенной формуле расчета скорости воздуха в воздушной прослойке по СП 345.1325800.2017;

2. Основной задачей будущих исследований авторы видят применение полученных зависимостей на реальных решениях НФС и выявления такого времени  $\tau$ , при котором теплоизоляция НФС превысит допустимые отклонения по влажности.

3. Перспективным направлением исследования является выявление наихудшего сценария падения облицовочных панелей конструкции для разработки наиболее эффективной и точной методики инженерного расчёта навесных вентилируемых фасадов;

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): учебник для вузов – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1982 – 415 с.
2. Энергосберегающие технологии в современном строительстве: (пер. с англ.) / Подред. В.Б.Козлова. —М.: Стройиздат, 1990. —296 с. (перевод изд.: Energy 85, Energy use in the built emironment, Swedish Council for Building Research, Stockholm,1985).
3. Ржанек Я. Снижение теплопотерь в зданиях: [пер. с чеш.] / Я. Ржанек, А. Яноуш; под ред. Л. М. Махова. —М.: Стройиздат, 1988. —168 с.
4. Радаев А.Е., Гамаюнова О. С., Бардина Г. А. Использование средств оптимизационного моделирования для обоснования характеристик энергоэффективного конструктивного решения//

Строительство и техногенная безопасность №27(79)-2022 С. 5–25.

5. Старков В.Н. Повышение энергоэффективности зданий и сооружений: учеб.пособие/ В. Н. Старков, М. В. Петроченко. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 346с.

6. Данилов Н. И. Энергосбережение в жилищно-коммунальном комплексе / Н. И. Данилов, Я. М. Щелоков, В. Ю. Балдин; под ред. Н. И. Данилова. —Екатеринбург: Издательство ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. — 102 с.

7. Немова Д.В. Навесные вентилируемые фасады: обзор основных проблем// Инженерно-строительный журнал №5(15)- 2010.

8. Ли С.В., Гамаюнова О.С. Фасадные системы в высотном строительстве // Инженерные исследования. 2021. № 4(4). С. 3-14.

9. Чакин Е.Ю. Энергоэффективные теплоизоляционные материалы для ограждающих стеновых конструкций // Инженерные исследования. 2022. № 1(6). С. 9-18.

10. Цыпленков Д.Е. Выбор теплоизоляционного материала на основе метода многокритериальной оценки альтернатив // Инженерные исследования. 2022. № 5(10). С. 25-30.

11. Тюрин Е.А., Попов М.Ю., Бородин Д.В., Шашков А.И. Пути снижения затрат на эксплуатацию зданий МО РФ за счет увеличения уровня тепловой защиты ограждающих конструкций // Инженерные исследования. 2022. № 5(10). С. 31-36.

12. Шуршилин Е.А., Олехнович Я.А. Энергоэффективные модульные сооружения при разветывании военных баз // Проблемы обеспечения функционирования и развития наземной инфраструктуры комплексов систем вооружения. Материалы всероссийской научно-технической конференции. – СПб. – 2021 г.

13. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»

14. СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты»;

15. Методика оценки влияния влажности на эффективность теплоизоляции оборудования и трубопроводов. МДС 41-7.2004/ОАО «Теплопроект». — М.: ФГУП Ц П П , 2004. - 16 с.

## REFERENCES

1. Bogoslovsky V.N. Stroitel'naya telophysika (thermophysical foundations of heating, ventilation and air conditioning): textbook for universities – 2nd ed., pererab. i dop. – М.: Vyssh. school, 1982 – 415 p., ill.
2. Энергосберегающие технологии в современном строительстве: (пер. с англ.) / Подред. В. Б. Козлова. —М.: Стройиздат, 1990. —296 с.

(перевод изд.: Energy 85, Energy use in the built environment, Swedish Council for Building Research, Stockholm, 1985).

3. Rzhaneck J. Reduction of heat loss in buildings: [per. with Czech.] / J. Rzhaneck, A. Janouš; ed. by L. M. Makhov. —M.: Stroyizdat, 1988. —168 s.

4. Radaev A.E., Gamayunova O.S., Bardina G.A. Use of optimization modeling tools to substantiate the characteristics of an energy-efficient design solution Construction and technogenic safety No. 27(79)-2022 P. 5–25.

5. Starkov V.N. Improving the energy efficiency of buildings and structures: ucheb.posobie / V. N. Starkov, M. V. Petrochenko. —SPb.: Izd-vo Politekh. un-ta, 2014. —346 p.;

6. Danilov N. I. Energoresezhenie v residential-kommunal'nogo kommunal'nogo kompleksa / N. I. Danilov, Y. M. Shchelokov, V. Y. Baldin; ed. by N. I. Danilov. —Ekaterinburg: Izdatelstvo GOU VPO USTU-UPI, 2006. —102 p.

7. Nemova D.V. Hinged ventilated facades: an overview of the main problems // Engineering and construction journal No5(15)-2010

8. Li S.V., Gamayunova O.S. Facade systems in high-rise construction // Engineering studies. 2021. № 4(4). S. 3-14. EDN YQXJNV.

9. Chakin E.Y. Energy-efficient thermal insulation materials for enclosing wall structures // Engineering research. 2022. № 1(6). S. 9-18. EDN GYDSPL.

10. Tsyplenkov D.E. Selection of thermal insulation material on the basis of the method of multi-criteria evaluation of alternatives // Engineering studies. 2022. № 5(10). S. 25-30. EDN HPYKLO.

11. Tyurin E.A., Popov M.Yu., Borodin D.V., Shashkov A.I. Ways to reduce the cost of operating buildings of the Ministry of Defense of the Russian Federation by increasing the level of thermal protection of enclosing structures // Engineering studies. 2022. № 5(10). S. 31-36. EDN LOCTZR.

12. Shurshilin E.A., Olekhovich Ya. A. Energy-efficient modular structures in the deployment of military bases // Problems of ensuring the functioning and development of the ground infrastructure of weapons systems. Materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference. — SPb. — 2021

13. СП 50.13330.2012 «Thermal protection of buildings»

14. СП 345.1325800.2017 «Residential and public buildings. Rules of thermal protection design»;

15. Methodology for assessing the effect of humidity on the efficiency of thermal insulation of equipment and pipelines. МДС 41-7.2004/ОАО «Теплопроект». — М.: ФГУП Ц П П, 2004. - 16 с.

## THE IMPACT OF THE FAILURE OF THE CLADDING PANELS ON THE THERMAL PROPERTIES OF HINGED VENTILATED FACADE STRUCTURES

Shurshilin<sup>1</sup> E. A., Olekhovich<sup>2</sup> Ya. A.

<sup>1</sup>Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Polytechnic Street, 29,

<sup>2</sup>Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Polytechnicheskaya Str., 29,

e-mail: <sup>1</sup>shurshilin.ea@edu.spbstu.ru, <sup>2</sup>olekhovich\_yaa@spbstu.ru

**Abstract.** One of the most common solutions for external enclosing wall structures are hinged ventilated façade structures, which, thanks to the use of air layers, provide increased energy efficiency. However, such systems have a number of drawbacks, including the formation of cold bridges in the places of attachment of facade panels, which can lead to significant problems in the operation of the system. In addition, it is known that individual facade panels can fall and refuse to work, which leads to a violation of the closure of the air layer and negatively affects the thermal properties of the structure. Therefore, it is necessary to take into account both the shortcomings of the facade structure itself and the problems associated with its operation in order to correctly assess the impact of the failure of the facade panels on the thermal properties of the structure as a whole. This problem is one of the most important for systems of hinged ventilated facades, as it can lead to a complete loss of thermal engineering properties of the structure. This study considers a theoretical solution to the problem of calculating the heat transfer resistance of air layers in hinged ventilated facade structures and organizing this solution into a consistent design methodology for further investigation of the effect of the fall of facing panels on thermal engineering properties of hinged ventilated facades. The main question of the study, consisting in assessing the impact of the failure of the cladding panels on the thermal properties of hinged ventilated facade structures, is considered in accordance with the provisions of the developed methodology and its subsequent mathematical analysis. The need for such a study is justified by the need to determine the most effective ways to eliminate the shortcomings of hinged ventilated facade structures and increase their thermal properties.

**Materials and methods:** analysis of scientific and technical literature, mathematical analysis of the dependence of the resistance to heat transfer of air layers on the geometric parameters of the structure.

**Subject of research:** air layers in hinged ventilated façade structures.

**Results:** mathematical dependences are obtained that allow us to estimate the change in the moisture content of the thermal insulation material of hinged facade systems, the air velocity in the air layer and the air temperature in the air layer because of facing panel's failure.

**Conclusions:** failure of facing panels of hinged facade systems leads to a change in the humidity of the thermal insulation and the parameters of the air layer, which can lead to exceeding regulatory requirements.

**Key words:** energy efficiency of buildings and structures, hinged ventilated facades, external enclosing structures of buildings and structures, thermal calculation of buildings and structures, closure of air layers.

УДК 622.691:004.9

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

Романова<sup>1</sup> Т.Н. Белоглазова<sup>2</sup>, Т.Н.

<sup>1</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
г. Пермь, Комсомольский пр-т, 29,

<sup>2</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
г. Пермь, Комсомольский пр-т, 29,  
e-mail: <sup>1</sup>botinkin@yandex.ru, <sup>2</sup>tabelglazova@yandex.ru

**Аннотация.** Актуальность исследования обусловлена необходимостью эффективности реализации цифровых технологий в сфере газоснабжения. Исследование энергообеспечения за счет природного газа произведено согласно с функциональными закономерностями технологических процессов и факторами потребления газа во взаимосвязи с направлениями цифровой трансформации. Цифровые технологии обеспечивают современные механизмы управления, технологические процессы, экономические эффекты в результате реализации в системе газоснабжения.

**Предмет исследования:** критерии цифровой трансформации с учетом особенности отрасли газоснабжения для поэтапного поступательного развития региональной экономики; принцип оценки эффективности цифровой трансформации газоснабжения, как части энергетической инфраструктуры с учетом материального и информационного взаимодействия.

**Материалы и методы:** на основе анализа и обобщения основных направлений и критериев цифровой трансформации отраслей экономики выявлена функциональная взаимосвязь с газоснабжением. Использован метод сопоставления результатов цифровой трансформации при технологическом подходе и при относительной оценке инвестиций.

**Результаты:** в качестве критериев цифровой трансформации представлены группы показателей, которые технологически взаимосвязаны в области газоснабжения. Дополнительной функцией, для расширения границ оценки экономической эффективности цифровых технологий, является создание механизма формирования добавленной стоимости в России. Увеличение капитализации за счет инвестиций в цифровые технологии, без обоснованного практического эффекта не является фактором повышения эффективности. Выявление эффективности использования цифровых технологий осуществляется поэтапно. Базовый, экономически обоснованный, перспективный уровни технико-экономических показателей цифровой трансформации для газоснабжения с учетом надежности и безопасности позволит рационально подходить к использованию энергетических ресурсов.

**Выводы:** реализация цифровой трансформации не должна приводить к избыточному росту тарифов в газоснабжении для регионов России, так как энергетическая доступность является необходимым условием экономического развития.

Ключевые слова: эффективность, управление, безопасность, функционально-технологические критерии, экономические результаты, система газоснабжения, газовое топливо.

## ВВЕДЕНИЕ

Экономическая ситуация во всем мире и в России показывает основополагающее влияние энергетических систем на устойчивость развития стран [1]. Разнообразие используемых энергетических ресурсов в регионах мира оказывает многофакторное влияние на отдельные отрасли и в целом на экономику. Как основное, органическое топливо остается на ближайшую перспективу в мировой экономике определяющим. Газовая отрасль определяет ключевые направления развития мировой экономики [2].

Современная динамика объемов потребления энергоресурсов продолжает характеризоваться региональными особенностями. Снижение объемов потребления газа, связанное с кризисными явлениями в мировой экономике, в результате борьбы с пандемией и дальнейшими политическими процессами, является значительным для России. При этом мировой рост цен на газовое топливо в 2022 году и спад производства в странах Западной Европы является подтверждающим фактором того,

что экономически эффективная замена российского газа в краткосрочной перспективе практически безальтернативна. При объективно существующем спросе на энергоресурсы на международных рынках, развитие внутреннего спроса для России является необходимым условием устойчивого социального и регионального развития страны. Задачи повышения устойчивости экономики за счет использования газа заключаются в следующем: повышение эффективности технологического оборудования, снижение потерь, использование комплексного подхода в производстве с извлечением всех компонентов сырья, совершенствование экономических механизмов распределения добавленной стоимости. Комплексный характер технологических мероприятий без эффективных механизмов управления и долгосрочного планирования реализовать практически невозможно.

На современном этапе цифровые технологии являются определяющим направлением совершенствования механизмов управления производственными процессами и экономическим

развитием всех отраслей жизнеобеспечения человека. Ожидаемые эффекты от внедрения Интернета вещей, которые заключаются в снижении издержек в промышленности, ускорении коммуникации и интеграционных процессов построения глобальных стоимостных цепочек в мировой экономике [3], не обеспечили ожидаемых эффектов в условиях глобализации. Если рассматривать на мировом и внутреннем уровне формирование структуры цен для платформы, как для многостороннего рынка, то в условиях экономического и политического кризиса получение максимальной прибыли и создание условий для монетизации сферы деятельности не является однозначным. Этот процесс находится в стадии реорганизации в свете последних событий в мировой экономике. Актуальным остается оценка процесса применения цифровых технологий для всестороннего комплексного анализа солидарности внешних и внутренних рынков газа для экономики России [4]. Газовая промышленность России, как часть энергетической структуры, вносит определяющий вклад в состав добавленной стоимости конечного валового продукта, влияет на благосостояние граждан.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эффективное управление системой газораспределения (ГС) регионов России основано на взаимодействии всех потребителей и зависит от объемов поставок газа. К основным потребителям газа на внутреннем рынке относятся: промышленные объекты, выработка электрической и тепловой энергии в когенерационном цикле. Хозяйственно-бытовое потребление, выделяемое в программах комплексного развития инженерной инфраструктуры разных уровней, по объемам существенно меньше промышленного потребления, но имеет социальное значение. Цифровая трансформация отрасли рассматривается в рамках технологических особенностей каждой категории потребителей и выполнения основных задач. Программное обеспечение и средства коммуникации позволяют обеспечить высокую скорость передачи информации, при этом анализ данных и принятие решений осуществляется на основе функциональных задач объекта и, в основном, зависит от человеческого фактора. Программные комплексы реализуют алгоритмы решения задач выбора оптимальных значений параметров в рамках существующих численных методов. Для решения практических вопросов в области проектирования диспетчеризации имеет место множество разработок, которые успешно реализуются. Пример единого информационно-технологического пространства (ЕИТП) представляет взаимосвязь мониторинга и управления газотранспортными системами и газораспределительными станциями [5].

Цели экономического развития, которые формируют задачи газовой отрасли, должны исходить из долгосрочной перспективы

постоянного устойчивого роста потребления газа в России. Из чего следует, что ключевым вопросом становится необходимость прогнозирования создания новых отраслевых цепочек стоимости в рамках регионального и межрегионального экономического развития и интеграции на основе взаимодействия технологических процессов и производств средствами энергетических и сырьевых потоков. Решение данного вопроса совпадает со стратегическим направлением цифровой трансформации отраслей народного хозяйства и должно находить свое отражение в конкретных целевых показателях создания добавленной стоимости. При существующей модели индустриального развития инновационные разработки, в том числе и цифровые технологии, включаются в стоимость произведенных товаров и услуг. Но отличительной особенностью современного этапа развития является то, что данные инвестиции должны быть взаимоувязаны обособанным спросом технологий как на внутреннем, так и на внешних рынках, в соответствии с планами развития промышленных объектов и социальной инфраструктуры регионов на базе комплексного подхода с учетом краткосрочного и долгосрочного периодов. Инвестиции в цифровые технологии являются необходимым условием цифровой трансформации, но при этом следует ориентироваться на перспективу качественных изменений технологических процессов.

Численные методы в большинстве своем имеют достаточно ограниченный методически-обоснованный и апробированный опыт применения и рекомендаций для реализации в прикладных вопросах, особенно для инженерных систем территорий [6, 7]. При разработке алгоритмов взаимодействия систем газоснабжения с объектами производства, коммуникации, потребления энергетических ресурсов необходимо исходить из региональных условий. Даже при сборе статистической информации объемов потребления газа разными ведомствами есть разобщенность. Одни и те же данные передаются в разных программах различным ведомствам, требуется специально оборудованное рабочее место для их обработки. Такой подход к цифровой трансформации вызывает противоречивые эффекты, так как в конечном итоге не приводит к значительному улучшению качества обслуживания и не влияет на технологическую безопасность систем и объектов газоснабжения. Стандартизация форматов и механизмов обмена данными, как способ повышения эффективности процесса подготовки данных к передаче, анализу и дальнейшему планированию, без высококвалифицированного централизованного управления невозможна. Функционирование системы газоснабжения территорий является сферой интересов разных хозяйствующих субъектов. Взаимодействие в цифровом формате между ними производится на правовой и

нормативной основе. Современная форма собственности позволяла длительное время формировать обособленные принципы внедрения технологий, в том числе и цифровых, и управления. В результате, на первоначальном этапе необходимо оценить состояние существующих технологий и определить первоочередные направления цифровой трансформации в плане унификации и доступности.

Эффективность производства в целом зависит от множества факторов, основополагающим из которых является обеспечение безопасности ее функционирования. Для промышленного производства цифровое обеспечение является одним из элементов технологий и обосновано экономическими показателями. Сферу моделирования и усовершенствования технологий на основе выявления риска аварий следует рассматривать, прежде всего, для выявления границ устойчивой работы при изменении условий использования производственных процессов.

Общие подходы оптимизации в сфере газоснабжения технологически взаимосвязанных объектов инфраструктуры территорий используют методы системного анализа. Системы, обеспечивающие энергетическими ресурсами конкретную территорию, имеют общие принципы развития. Для каждой отдельной системы, например ГС, существуют объективные особенности, которые определяют информационные и логические связи. Для разработки цифровых двойников системы одним из основных этапов является исследование реальных объектов [6-9].

Промышленный интернет вещей в сфере газоснабжения обеспечивает возможность для реализации энергоэффективных технологических процессов, сокращения выбросов и отходов, повышения надежности энергетической системы при условии централизованного мониторинга и управления. Перспективные направления разработки бизнес-моделей на основе апробированных подходов и внедрения новых цифровых технологий требуют всестороннего исследования [10].

На современном этапе цифровые технологии обеспечивают решение отраслевых задач с учетом технологических функций; в основном, обеспечивают задачи безопасной эксплуатации систем газоснабжения. Это характерно для всех направлений в газоснабжении, таких как: добыча, переработка, транспортировка по магистральным газопроводам, распределение и использование. Нарботанный опыт является основой безопасной и надежной работы энергетической инфраструктуры. Из условий технологической безопасности необходимо формировать критерии оценки цифровой зрелости по каждому направлению с учетом характерных особенностей ГС. Вопросы цифровой трансформации газоснабжения приходится рассматривать с учетом фактора неопределенности современной мировой экономики и при этом ориентироваться на безопасность и технологическую устойчивость

системы в условиях долгосрочной эксплуатации. Такой принцип был реализован при формировании современной системы газоснабжения в иных социальных экономических условиях и показал устойчивость в годы реформ и рыночных отношений. Многие решения являются самодостаточными и для современного этапа развития.

Характерной особенностью внутреннего спроса на газ в России является его стабильность на цели теплоснабжения, обоснованная климатическими условиями. Большая часть регионов России при использовании газа для производства тепловой и электрической энергии обеспечивает высокий коэффициент полезного действия использования газового топлива. Повышение энергоемкости цепочек потребления в этом процессе является негативным фактором, но не оказывает деструктивного влияния на систему при обоснованно-умеренном уровне цены на газ для внутреннего потребления. Для управления экономической и региональной эффективностью можно выявить положительные перспективы для реализации комплексного многоуровневого подхода при производстве и потреблении ресурсов. Существенными ограничениями по интенсивному внедрению цифровых технологий на новом перспективном уровне являются следующие факторы. Во-первых, нет методически-обоснованного подхода для оценки инвестиций и определения финансовой выгоды. Это связано не только с большим объемом информации, но с разными целями структурных элементов платформы, взаимным влиянием социальных, политических и экономических факторов, которые при формализации с точки зрения эффективности не определены. Во-вторых, существует разобщенность между исследовательскими организациями, разрабатывающими технологии и практическим сектором экономики. В-третьих, применение цифровых технологий, разработанных сторонними субъектами, не гарантирует конфиденциальности, что может представлять значительную угрозу безопасности [10].

Газоснабжение, как часть энергетической инфраструктуры, предусматривает материальное и информационное взаимодействие с отраслями промышленности и объектами жилищно-коммунального хозяйства. Технологические процессы призваны обеспечить экономическую эффективность и безопасность производства товаров и услуг. ГС предусматривают снабжение газом с нормативными требованиями для разных категорий потребителей в широком диапазоне режимов эксплуатации. Ретроспективный анализ энергетического баланса территории для систем электроснабжения, теплоснабжения и газоснабжения обеспечивает выявление первоочередных направлений развития отраслей промышленности [11, 12]. Если рассматривать цифровые технологии, как один из драйверов развития газовой отрасли, при планировании и моделировании сценариев регионального развития,

стабилизации и роста ВВП, то внутреннее потребление газа становится для регионов России необходимым условием экономического роста [3].

Целью настоящего исследования является усовершенствование методики оценки эффективности цифровой трансформации газоснабжения на базе функциональных закономерностей процессов распределения и использования газа. Цифровые технологии в газоснабжении представлены с точки зрения разработки механизма развития комплексной отраслевой структуры. Экономический анализ критериев цифровой трансформации для

газоснабжения выполнен на основе системного метода и функциональных задач отраслей, тесно связанных с газоснабжением основным материальным ресурсом – газом. Газоснабжение, как элемент структуры, либо как часть технологического процесса взаимодействует со строительным комплексом, топливно-энергетическим комплексом (ТЭК) и городским хозяйством. Структурная схема ряда показателей цифровой трансформации относительно газоснабжения представлена на рисунке 1.

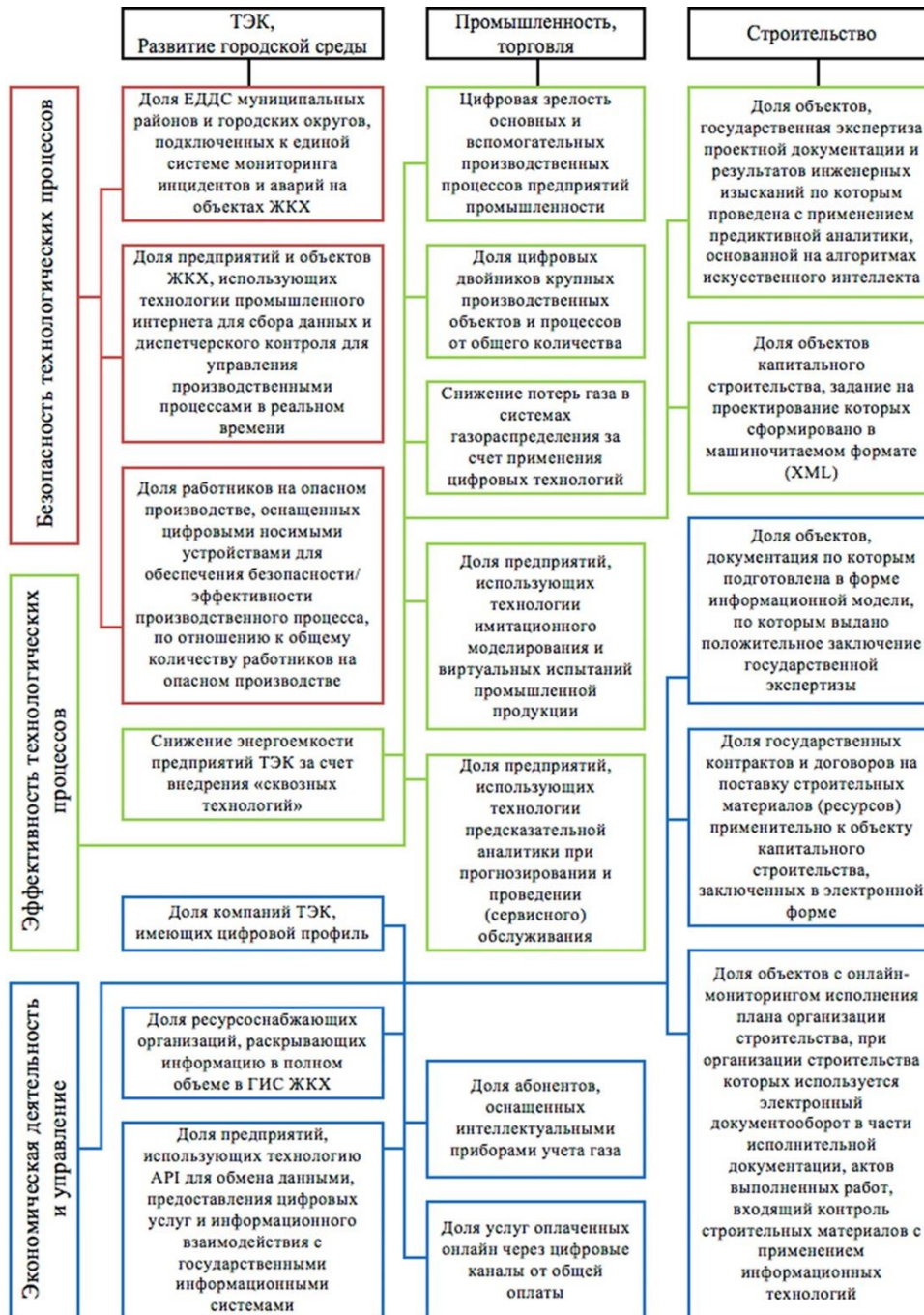


Рис. 1. Группировка критериев цифровой трансформации по отраслевому и функциональному принципу с учетом газоснабжения (на основе приказа Минцифры России от 18.11.2020 № 600<sup>1</sup>)

Fig. 1. Grouping of digital transformation criteria by industry and functional principle, taking into account gas supply

Группировка показателей осуществлена исходя из требований безопасности технологического процесса, эффективности и управления. Благодаря анализу подгрупп удалось выявить общие прикладные направления использования цифровой деятельности с практическим значением и экономической эффективностью для газоснабжения.

Внедрение цифровых технологий в соответствии с модульно-функциональным подходом основано на следующих принципах. Результаты и эффекты реализации цифровых технологий в газоснабжении оцениваются с учетом объемов потребления газа. Газовая составляющая в рамках промышленного производства, на энергетических объектах и на объектах жилищно-коммунального хозяйства включается в стоимость товаров и услуг.

Обоснованием направления внедрения цифровых технологий в газоснабжении, а так же оцениванием базового уровня цифровой зрелости, является определение цифровых критериев с учетом объемов газопотребления:

$$K_p = \sum_{i=1}^{i=m} \frac{Q_i \cdot K_i}{Q_g} \cdot 100, \quad (1)$$

где  $K_p$  – расчетное значение показателя цифровой трансформации для технологических процессов и других потребителей, %,  $K_i$  – статистическое значение показателя цифровой трансформации для отдельного потребителя газа, д.ед.,  $Q_i$  – расход газа отдельным потребителем, м<sup>3</sup>/год,  $Q_g$  – общий расход газа потребителями, м<sup>3</sup>/год.

При оценке показателей цифровой трансформации линейных объектов газоснабжения в сфере безопасности и диспетчеризации возможно использовать не только величину объемов поставляемого газа, но и материальную характеристику системы газоснабжения:

$$K_l = \sum_{i=1}^{i=m} \frac{M_i \cdot K_{il}}{M_g} \cdot 100, \quad (2)$$

где  $K_l$  – расчетное значение показателя цифровой трансформации для линейных объектов территории, %,  $K_{il}$  – статистическое значение показателя цифровой трансформации для отдельной части линейной системы, д.ед.,  $M_i$  – материальная характеристика газораспределительных сетей, обслуживаемых отдельным подразделением, единицы материальной характеристики,  $M_g$  – материальная характеристика системы газораспределения в целом по региону, единицы материальной характеристики.

Для определения эффективности процессов в сфере производства и управления применяются апробированные критерии, такие как чистый дисконтированный доход, внутренняя норма доходности, срок окупаемости, затраты жизненного цикла. Как составную часть технологического

процесса или процесса управления, эффективность цифровых технологий в газоснабжении рекомендуется оценивать общепринятыми критериями. Но поскольку системы газоснабжения являются основой энергетической структуры региональных и межрегиональных взаимодействий, усложнение модели с учетом большого количества факторов и рисков приводит к неточности, а иногда и искажению результатов экономического анализа.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Тенденция к упрощению методики экономической оценки по росту инвестиционных вложений, например, по относительному росту экономических показателей цифровой трансформации, представляет опасность для необоснованного роста тарифов и цен, что в условиях инфляции не отвечает целям развития внутреннего потребления газа в России. Можно так же отметить, что расчет эффективности цифровых технологий в соответствии с предложенным относительным принципом<sup>1</sup> не отражает функциональной взаимосвязи с экономическими результатами конкретных технологических процессов. При оценке эффективности цифровых технологий следует учитывать объективные факторы реальных технологических процессов. Например, эффективность процесса производства тепловой и электрической энергии при использовании органического топлива ограничена объективно первым законом термодинамики. При оценке эффективности цифрового совершенствования в отрыве от особенностей производственного технологического процесса происходит необоснованное перераспределение денежных средств из натурального сектора в цифровое пространство. На рисунке 2 представлен график, отражающий относительный рост инвестиций в цифровую технологию во взаимосвязи с технологическим эффектом производственного процесса.

Для реальных процессов транспортировки, распределения и использования в газоснабжении путем сопоставления затрат в цифровую трансформацию и эффективности технологии в целом можно определить точку, которая объективно отражает взаимосвязь эффективности производственной и цифровой составляющей. При условии реализации этапов цифрового совершенствования (рис.2) на третьем и последующих шагах исследования для окупаемости цифровых технологий необходимо повышение стоимости продукции и (или) услуг, либо эффекты от реализации проектов перераспределяются в стоимостные цепочки направления использования газа, что возможно только при определенном

<sup>1</sup> Об утверждении методик расчета целевых показателей национальной цели развития Российской Федерации «Цифровая трансформация» [Электронный ресурс]:

приказ Минцифры России от 18.11.2020 № 600 (ред. от 14.01.2021).

согласованном уровне взаимодействия управления в экономике.

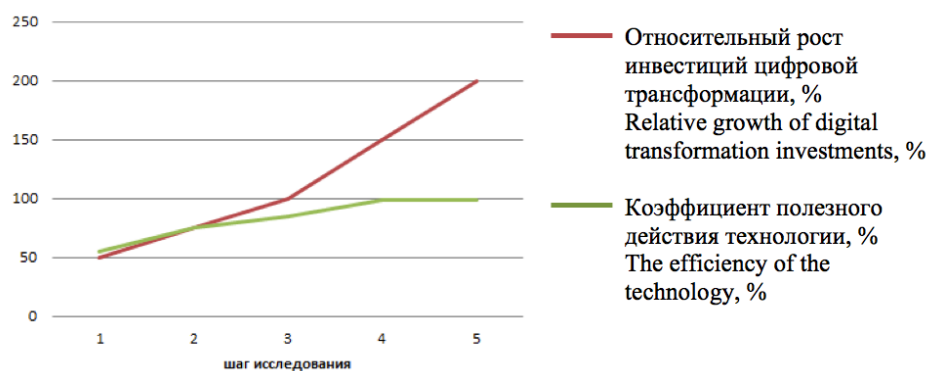


Рис. 2. Эффективность инвестиций в цифровую трансформацию технологического процесса  
Fig. 2. The investment efficiency in digital transformation of technological process

Показатели цифровой эффективности в зарубежных странах, такие как E-Intensity, отражают наличие цифровой инфраструктуры, расходы на цифровые технологии, вовлеченность в цифровую деятельность. Если при этом учитывать взаимосвязь с технологией производственного процесса и определенный тип формирования добавленной стоимости в рамках глобальных рынков, тогда данный критерий, как механизм управления, является обоснованным при переклассификационной оценке. Индекс цифровой экономики и социального развития I-DESI учитывает уровень применения интернета в сфере государственных услуг, общий уровень использования интернета, наличие подготовленных кадров. Для новых условий в данном виде эти критерии могут применяться как дополнительные, для выявления взаимной зависимости и влияния на эффективность отраслевого развития.

Безопасный характер использования технологии для человека и окружающей среды является первоочередной производственной задачей для промышленности, строительства и торговли. Такие критерии цифровой трансформации, как цифровая зрелость основных и вспомогательных производственных процессов, доля предприятий, использующих технологии имитационного моделирования и виртуальных испытаний промышленной продукции условно отнесены по функционально-целевому принципу к критериям, обеспечивающим эффективность при безусловном понимании того, что технологически обеспечивается безопасность процесса использования газа. Представленные критерии (рис.1) требуют уточнения при постановке целей и задач цифровой трансформации, а так же оценки конкретной результативности при внедрении. Качественная оценка эффектов цифровой трансформации газоснабжения обосновывается как экономическими результатами, так и функционально-технологическими критериями. Основной задачей методического характера является определение базового уровня цифровой трансформации [13].

Практическая значимость реализации цифровой технологии определяется, как зависимость критерия цифровой трансформации от функциональных технологических показателей системы газоснабжения с учетом сферы деятельности. Необходимо при данном подходе выделить процессы проектирования, строительства и эксплуатации.

При выявлении критериев цифровой трансформации следует сгруппировать ограниченный комплекс показателей, которые представляют технологическую эффективность в плане безопасности процесса, экономическую с учетом наилучших доступных технологий, социальную, бюджетную.

Дополнительной функцией, позволяющей расширить рамки оценки экономической эффективности, является усовершенствование механизма формирования добавленной стоимости. Само по себе увеличение капитализации за счет инвестиций в цифровые технологии, без обоснованного практического эффекта не является фактором повышения эффективности. Выявление эффективности цифровых технологий требует достаточно зрелого уровня цифрового управления и моделирования, поэтому решение поставленных задач рекомендуется осуществлять поэтапно.

В представленном исследовании методически рассмотрены и обоснованы уровни оперативного мониторинга эффективности цифровых критериев для каждого этапа для промышленного производства. При поэтапном подходе появляется возможность реализовать целевой принцип внедрения наиболее значимых результатов на широкий круг аналогичных процессов при обоснованных экономических затратах. Для оценки результативности и своевременной корректировки при поэтапной реализации процесса цифровой трансформации в сфере газоснабжения произведен анализ базового, обоснованно-эффективного и перспективного уровней внедрения.

Поскольку, как правило, наблюдается эффект непропорциональности по первоначальным затратам и последующим результатам, следует с

учетом этого эффекта при цифровой трансформации считать первоочередными те мероприятия, которые характеризуются обоснованным сроком окупаемости, либо необходимы для обеспечения энергетической безопасности и структурных преобразований в региональной экономике.

Базовый уровень характеризует состояние объектов с учетом фактического уровня цифровых технологий на современном этапе по данным статистики с учетом нормативных требований безопасности и оценивает наличие условий для внедрения цифровых технологий.

В условиях экономических и технологических ограничений следует отметить, что при оценке цифрового базового уровня отражается также соотношение зарубежных и отечественных технологий, а так же программного обеспечения. Уровень технологии должен соответствовать и формировать спрос на цифровую трансформацию. Потребители, в том числе индивидуальные, должны иметь свободный доступ к цифровым технологиям. На сегодняшний день это связано с широким кругом задач социального, экономического и инфраструктурного характера. Среди первоочередных, является доступность услуг связи, интернета, наличие компьютера с программным обеспечением на основе отечественных разработок, получение достаточных навыков в качестве пользователей цифровых продуктов. Таким образом, обеспечить цифровую трансформацию без объективного доступа к цифровым технологиям широкого круга пользователей не представляется возможным. Если технология по критериям оценки соответствует базовому уровню, тогда рассматривается целесообразность перехода к экономически-обоснованному уровню.

Обоснованно-эффективный уровень обеспечивает технологический процесс добычи, транспортирования, распределения и использования газа при наилучших доступных технологиях. Предусматривает повышение эффективности и надежности за счет технологических и организационных мероприятий на объектах газификации. Варианты при использовании цифровых технологий или отказ от них ориентируются не столько на объем вложенных средств, сколько на эффективность бюджетную, социальную, экономическую.

Перспективный уровень является результатом при комплексной оценке развития в рамках межотраслевых взаимодействий, при обязательном условии технологической безопасности и экономической эффективности первых двух уровней. Перспективный уровень включает комплексную возможность по моделированию и управлению за счет цифровых технологий, при совершенствовании нормативной и правовой базы. Стоит отметить, что в существующих условиях отсутствия тесных межотраслевых взаимодействий и планирования развития данный этап слабо реализуем. Перспективным данный уровень

является также и потому, что требуется значительная трансформация, не только цифровая, но и в области управления развитием регионов, например, при оценке взаимосвязи газоснабжения для систем выработки электрической и тепловой энергии.

Газоснабжение территорий формирует условия регионального развития. Для определения перспективного спроса, прежде всего промышленного, и, как следствие, на теплоснабжение, необходимо долгосрочное планирование объемов поставок газа. Изменения потребления газа зависят от балансовой структуры в регионе и оцениваются в период исследования долгосрочного развития, которое основывается на взаимодействии межотраслевых планов при централизованном управлении. Многие проекты, реализованные при плановом управлении инфраструктурой регионов, для условий России показывают свою эффективность. Например, система централизованного теплоснабжения при комбинированной выработке тепловой и электрической энергии. В контексте эффективности объединение электрической системы и теплоснабжения при использовании энергетических ресурсов в условиях России является уникальным по своим масштабам. Поэтому, при планировании потребления газа, учитываются характер потребления для различных категорий, годовые объемы, закономерности изменения сезонного, суточного и часового расхода. Исследование закономерности потребления газа на основе моделей межотраслевого взаимодействия так же является сферой для активного внедрения цифровых технологий, способствует рациональному планированию режимов эксплуатации объектов энергообеспечения. Механизм управления предприятиями при разобщенности интересов в условиях частной собственности не отвечает интересам потребителей товаров и услуг.

Методически эффективность цифровой трансформации приходится оценивать на основе не одного, а нескольких показателей. Цифровые показатели рассматриваются для любого направления газоснабжения исходя из безопасности и эффективности технологических процессов, экономической деятельности и управления. В-первых, выявляются те направления, которые характеризуются наибольшим объемом потребления газа (1), либо для газораспределительных сетей на основе единиц материальной характеристики (2). Одним показателем является доля или процент цифровых технологий в процессе. Данный показатель является также необходимым для оценки уровня цифровой зрелости: базового, обоснованно-эффективного и перспективного.

Современные технологии, которые реализованы в газоснабжении, имеют высокий уровень компьютеризации. Промышленное производство, диспетчеризация, сервис абонентов, мониторинг

объектов газоснабжения– все процессы реализуются в той или иной степени за счет цифровых технологий. При реализации базового уровня следует предусматривать, в основном, отечественные программы, оборудование и разработки для надежной и безопасной работы системы газоснабжения. Для базового уровня экономическая эффективность внедрения цифровых технологий определяется из условия реализуемости и обоснованной надежности. Обосновано-эффективный и перспективный уровень цифровой зрелости газоснабжения реализуется, как часть отраслевой экономики при соответствующем уровне регионального развития. Особенность анализа взаимного влияния критериев показателей надежности, эффективности, экономичности осуществляется на основе экспертных оценок и статистических данных. Практический эффект с точки зрения экономической сферы не следует ограничивать только повышающим коэффициентом при оплате за энергетический ресурс. При функционально-целевом ориентированном подходе критерии, которые действительно оказывают влияние на безопасность объектов газоснабжения, рассматриваются на этапе проектирования, строительства и эксплуатации. На примере промышленного производства оценка результативности показателей цифровой трансформации представлена в таблице.

Уровни показателей цифровой трансформации: базовый– не менее 40%, обосновано-эффективный– не менее 80%, перспективный– не менее 98%, являются рекомендуемыми. При

использовании нескольких видов энергетических ресурсов доля процессов для сферы газоснабжения оценивается на основе газовой составляющей в соответствии с объемами потребления газа. Процент уровня цифровой трансформации определяется на основе пропорциональности, с применением коэффициентов, исходя из особенности технологического процесса и требует обработки и анализа специализированного неэкономического характера.

При формировании комплекса критериев базового уровня и расчета процентного результата для принятия решения соответствия рекомендуемому значению учитываются следующие факторы. Основной технологический процесс обеспечен цифровыми технологиями для обеспечения нормативных характеристик и уровня безопасности на уровне 90 %. Экономическая эффективность за счет цифровых технологий не менее 67%. Цифровая трансформация с учетом социального аспекта не менее 67%. В современных условиях необходимо оценить уровень зависимости технологического процесса от внешних факторов: импортного оборудования, запасных частей и комплектующих материалов, программных продуктов, сервисного обслуживания. Если имеются аналоги и отечественные разработки, тогда коэффициент с учетом риска неопределенности можно принять равным единице. В противном случае, коэффициент должен быть менее единицы, с учетом риска для технологии. При этом важным вопросом является процесс унификации сбора и хранения информации.

**Таблица 1.** Оценка эффективности уровней цифровой трансформации газоснабжения на примере цифровой зрелости основных и вспомогательных процессов промышленного производства

**Table 1.** Effectiveness evaluation of the digital transformation levels of gas supply by the example of digital maturity of the main and auxiliary industrial production processes

Уровень показателя цифровой трансформации	Область внедрения цифровых технологий	Полученный эффект
Базовый уровень	Контроль и автоматическое поддержание основных параметров технологического процесса регулирования, контрольно- измерительных комплексов, предохранительных устройств; хранение информации и подготовка для оперативного управления	Обеспечение безопасной эксплуатации ГС в соответствии с нормативными требованиями, контроль использования ресурсов
Обосновано-эффективный уровень	Дополнительно к базовому уровню: оперативное управление на основе результатов мониторинга с выбором оптимальных режимов функционирования	Повышение эффективности технологических процессов подтверждается результатами ТЭО
Перспективный уровень	Дополнительно к базовому и обоснованно эффективному уровню: внедрение единой системы управления при комплексном взаимодействии объектов газоснабжения	Повышение безопасности и экономической эффективности в комплексной системе энергетической инфраструктуры территорий с учетом смежных отраслей

Анализ влияния цифровых технологий требует оценки при эксплуатации для различных характерных условий. Положительный опыт внедрения рассматривается для реализации в аналогичных условиях. Вопрос потребления газа,

связанный с особенностями регионального развития, принято рассматривать для газораспределительных систем в следующих периодах: год, сутки, час. Каждый период имеет свои закономерности, которые учитываются как

аналитически, так и статистически. Анализ показателей отражает технологические режимы регулирования, структуру и максимальные расчетные параметры систем газоснабжения. При оценке уровня цифровой зрелости рекомендуется использовать максимальные расчетные характеристики системы газоснабжения для ГС, либо номинальные режимы работы при оценке производственных процессов. Данный подход необходимо предусмотреть при разработке типовых таблиц. Технологический процесс, как правило, имеет типовые формы отчетности по эффективности использования энергетических ресурсов, экологической безопасности. Оценка цифровой зрелости технологии рекомендуется осуществлять на основе форм, существующих на предприятиях, что так же подтверждает обоснованную взаимосвязь функциональной зависимости при цифровой трансформации реальных технологических процессов.

### ВЫВОДЫ

Цифровая трансформация, как важнейшее стратегическое направление, в газоснабжении является не целью, а способом повышения технологической безопасности, экономической эффективности и стабильности энергетического обеспечения. Реализация цифровой трансформации не должна приводить к избыточному росту тарифов в газоснабжении, что неизбежно негативно отразится на формировании стоимости в области таких важнейших процессов, как производство электрической и тепловой энергии. Вопрос энергетической доступности является необходимым условием экономической и социальной стабильности. Принятие эффективных технических решений осуществляется на основе достоверных и объективных источников информации, при использовании апробированных и передовых технологий, своевременного обслуживания в рамках существующих нормативных и правовых актов.

Уровни цифровой трансформации с учетом функциональной значимости газоснабжения для всех отраслей рассматриваются на основе модульного и поэтапного принципа для следующих уровней: базового, обоснованного-эффективного, перспективного. Цифровая трансформация в сфере газоснабжения должна быть последовательной и экономически-обоснованной на каждом этапе в зависимости от развития технологического процесса и рассматривается в неразрывной связи с технологической сферой, учитывает ее особенности. Для каждого направления (при добыче газа, его транспортировке на дальние расстояния, при использовании и переработке в промышленности и в быту) с целью цифровой трансформации рассматривается комплекс критериев на основе функциональных особенностей, экономической эффективности, социальной востребованности.

Моделирование и исследование процессов при развитии экономики регионов России осуществляется на основе цифровых технологий. Поскольку развитие инфраструктуры газоснабжения является основой энергетической стабильности на долгосрочную перспективу, становится востребованным комплексный междотраслевой подход взаимодействия при централизованном управлении.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жизнин С. З., Тимохов В. М. Влияние энергетики на устойчивое развитие // *Мировая экономика и международные отношения*. 2017. Т. 61. № 11. С. 34–42. DOI: 10.20542/0131-2227-2017-61-11-34-42
2. Телегина Е. А., Халова Г. О. Мировая экономика и энергетика на переломе: поиски альтернативной модели развития // *Мировая экономика и международные отношения*. 2020. Т. 64. № 3. С. 5–11. DOI: 10.20542/0131-2227-2020-64-3-5-11
3. Кондратьев В. Б., Попов В. В., Кедрова Г. В. Трансформация глобальных цепочек стоимости: опыт трех отраслей // *Мировая экономика и международные отношения*. 2020. Т. 64. № 3. С. 68–79. DOI 10.20542/0131-2227-2020-64-3-68-79
4. Антипина О. Н. Платформы как многосторонние рынки эпохи цифровизации // *Мировая экономика и международные отношения*. 2020. Т. 64. № 3. С. 12–19. DOI: 10.20542/0131-2227-2020-64-3-12-19
5. Интеллектуальная система управления распределенными технологическими объектами транспорта газа / Л. И. Бернер, А. В. Остроух, А. С. Хадеев, Ю. М. Зельдин, С. Г. Марченко // *Промышленные АСУ и контроллеры*. 2021. № 8. С. 16–26. DOI: 10.25791/asu.8.2021.1302
6. Петров А. М., Попов А. Н. Анализ существующих решений совершенствования измерительно-вычислительных комплексов сетей теплоснабжения // *Construction and Geotechnics*. 2021. Т. 12. № 1. С. 18–29. DOI 10.15593/2224-9826/2021.1.02
7. Lvovich I. Y., Preobrazhenskiy A. P., Choporov O. N. Modelling and optimizing engineering network systems // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Chelyabinsk. 2019. P. 044026. DOI: 10.1088/1757-899X/687/4/044026
8. Выбор эффективных систем газораспределения / Ю. А. Табунщиков, Д. В. Коптев, В. А. Жила, А. К. Ключко, Е. Б. Соловьева // *Вестник МГСУ*. 2011. № 8. С. 222–229.
9. Боровский Б.И., Иванников Ю. А. Связь затрат на строительство распределительной газовой сети с характеристиками сети // *Строительство и техногенная безопасность*. 2016. № 2(54). С. 35–40.
10. Nicolae A., Korodi A., Silea I. An overview of industry 4.0 development directions in the industrial internet of things context // *Romanian Journal of*

Information Science and Technology. 2019. Vol. 22. Issue 3–4. Pp. 183–201.

11. Сарнацкий Э. В. О новой энергетической идеологии в пространственном развитии территорий: инновационное совершенствование отраслей ТЭК в урбоэкологическом территориальном развитии // Academia. Архитектура и строительство. 2019. № 2. С. 60–67. DOI: 10.22337/2077-9038-2019-2-60-67

12. Energy Systems as Objects of Hierarchical Modeling / V. Stennikov, S. Senderov, B. Saneev, N. Novitsky, A. B. Osak // Energy Systems Research. 2019. Vol. 2. Issue 4(8). Pp. 6–16. DOI: 10.25729/esr.2019.04.0001

13. Мониторинг энергоэффективности объектов системы централизованного теплоснабжения: методология определения базового уровня энергопотребления / Л. В. Давыденко, Н. В. Давыденко, В. А. Давыденко, Д. Спрейк // Проблемы региональной энергетики. 2022. № 1(53). С. 67–82. DOI: 10.52254/1857-0070.2022.1-53.06

## REFERENCES

1. Zhiznin S. Z., Timokhov V. M. Energy impact on sustainable development. *Mirovaya ekonomika i mezhdunarodnye otnosheniya*. 2017. vol. 61. No. 11, pp. 34–42. DOI 10.20542/0131-2227-2017-61-11-34-42. (In Russian).

2. Telegina E. A., Khalova G. O. World economy and energy at the turn: search for an alternative development model. *Mirovaya ekonomika i mezhdunarodnye otnosheniya*. 2020. Vol. 64. No. 3, pp. 5–11. DOI 10.20542/0131-2227-2020-64-3-5-11. (In Russian).

3. Kondratiev V. B., Popov V. V., Kedrova G. V. Global value chains transformation: three industries' cases. *Mirovaya ekonomika i mezhdunarodnye otnosheniya*. 2020. Vol. 64. No. 3, pp. 68–79. DOI 10.20542/0131-2227-2020-64-3-68-79. (In Russian).

4. Antipina O. N. Platforms as multi-sided markets of the digital age. *Mirovaya ekonomika i mezhdunarodnye otnosheniya*. 2020. Vol. 64. No. 3, pp. 12–19. DOI 10.20542/0131-2227-2020-64-3-12-19. (In Russian).

5. Berner L. I., Ostroukh A. V., Khadeev A. S., Zeldin Y. M., Marchenko S. G. Intelligent control

system for distributed technological objects of gas transportation. *Promyshlennye ASU i kontrolyery*. 2021. No. 8, pp. 16–26. DOI 10.25791/asu.8.2021.1302. (In Russian).

6. Petrov A. M., Popov A. N. Analysis of existing solutions for improving the measuring and computing complexes of heat supply networks. *Construction and Geotechnics*. 2021. Vol. 12. No. 1, pp. 18–29. DOI 10.15593/2224-9826/2021.1.02. (In Russian).

7. Lvovich I. Y., Preobrazhenskiy A. P., Choporov O. N. Modelling and optimizing engineering network systems. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Chelyabinsk*, 2019, P. 044026. DOI 10.1088/1757-899X/687/4/044026

8. Tabunshchikov Yu. A., Koptev D. V., Zhila V. A., Klochko A. K., Solovyova E. B. The choice of effective gas distribution systems. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 8, pp. 222–229. (In Russian).

9. Borovsky B. I., Ivannikov Yu. A. The connection of costs for the construction of a distribution gas network with the characteristics of the network. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*. 2016. No. 2(54), pp. 35–40. (In Russian).

10. Nicolae A. Korodi A., Silea I. An overview of industry 4.0 development directions in the industrial internet of things context. *Romanian Journal of Information Science and Technology*. 2019. Vol. 22. No 3–4, P. 183–201.

11. Sarnatsky E. V. On the new energy ideology in the spatial development of territories: innovative improvement of the fuel and energy sector in urban-ecological territorial development. *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo*. 2019. No. 2, pp. 60–67. DOI 10.22337/2077-9038-2019-2-60-67. (In Russian).

12. Stennikov V., Senderov S., Saneev B., Novitsky N., Osak A. B. Energy Systems as Objectsof Hierarchical Modeling. *Energy Systems Research*. 2019. Vol. 2. No 4(8), pp. 6–16. DOI 10.25729/esr.2019.04.0001.

13. Davydenko L. V., Davydenko N. V., Davydenko V. A., Sprake D. Monitoring of Energy Efficiency of District Heating System Facilities: Methodology for Determining the Energy Baseline. *Problemy regional'noj energetiki*. 2022. No. 1(53), pp. 68–83. DOI 10.52254/1857-0070.2022.1-53.06. (In Russian).

## GAS SUPPLY EFFICIENCY BASED ON DIGITAL TRANSFORMATION

<sup>1</sup>Romanova T.N., <sup>2</sup>Beloglazova T.N.

<sup>1</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia, botinkin@yandex.ru

<sup>2</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia, tabeloglazova@yandex.ru

**Abstract.** The relevance of the research is based to the need for effective implementation of digital technologies in the field of gas supply. The study of energy supply from natural gas was carried out in accordance with the functional patterns of technological processes and gas consumption factors in conjunction with the directions of digital transformation.

**Subject:** The main aim of the research to define and propose criteria for digital transformation, based on features of the gas supply industry for the gradual progressive development of the regional economy.

**Materials and methods:** The functional relationship with gas supply was determined based on the analysis and generalization of the main directions and criteria for the digital transformation. The method of comparing the results of digital transformation with a technological approach and with a relative assessment of investments was used.

**Results:** Groups of indicators that are technologically interconnected in gas supply are presented as criteria for digital transformation. An additional function to expand the boundaries of evaluating the economic efficiency of digital technologies is to provide a mechanism for creating added value in Russia. The increasing capitalization through investments in digital technologies is not a factor in increasing efficiency without a reasonable practical effect.

**Conclusions:** The implementation of digital transformation should not lead to an excessive increase in tariffs for gas supply to Russian regions, since energy supply is a necessary condition for the development of the economy.

**Key words:** Management, safety, functional and technological criteria, economic, gas fuel.



## Раздел 4. Экологическая безопасность

УДК 69.058

### ПЛАНИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПРИ ТОЧЕЧНОЙ ЗАСТРОЙКЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ

Манжилевская С. Е.

Донской государственный технический университет,  
344001, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1,  
e-mail: smanzhilevskaya@yandex.ru

**Аннотация.** Строительная отрасль считается одним из значительных источников ущерба окружающей среды. Последствия пылевого загрязнения оказывают влияние на все этапы жизненного цикла здания, от начала работ на строительной площадке до завершения, эксплуатации и сноса. Несмотря на то, что этап реализации производства работ длится недолго по сравнению с другими этапами жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта, этап строительства оказывает ряд значительных воздействий на окружающую среду. С развитием строительной отрасли и увеличением масштабов строительного производства в городах, где в стесненных условиях в плотной городской застройке образуются строительные площадки с возводимыми новыми зданиями, необходимо комплексно оценить и исследовать строительную площадку как источник загрязнения, определить и оценить все источники пылевого загрязнения на строительной площадке, процессы распространения пылевого загрязнения в городской среде, в которой уже существует определенный уровень загрязненности, свойственный по климатическим, природным, рельефным особенностям территории. В статье предложен анализ данных по натурным исследованиям степени запыленности атмосферного воздуха территории г. Ростова-на-Дону, анализ объема выбросов строительной пыли от производимых строительных работ, предложен метод расчета контроля за реализацией строительных процессов и распространения пылевого загрязнения образующегося в атмосферном воздухе, показатели максимальной, среднесуточной концентрации выброса мелкодисперсной пыли PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub> образующейся от строительного производства и возможности контроля уровня загрязнения на строительной площадке. Фундаментальных исследований по расчету пылевыделения от строительных работ при точечной застройке не имеется. На основании проведенных ранее натурных исследованиях с применением счетчика частиц Handheld 3016 были получены данные пылевых выбросов от строительных процессов при различных климатических воздействиях.

**Предмет исследования:** анализ данных по натурным исследованиям степени запыленности атмосферного воздуха территории г. Ростова-на-Дону, объема выбросов строительной пыли от производимых строительных работ на строительных площадках в городских условиях.

**Материалы и методы:** проведение систематических измерений степени запыленности г. Ростова-на-Дону с помощью ручного счетчика частиц Lighthouse Handheld 3016 IAQ, принимая во внимание типичные климатические, природные факторы территории, на которой располагается город. Систематический контроль за несколькими строительными площадками, где возводились схожие по технологии и условиям жилые комплексы в наиболее запыленной зоне г. Ростова-на-Дону и выбор пяти строительных площадок для разработки календарного графика выполнения строительно-монтажных работ с учетом удельных выбросов частиц пыли и климатических условий для расчета пылевого фактора загрязнения окружающей среды.

**Результаты:** эффективным подходом, который может быть с пользой применен к определению пылевых выбросов на строительной площадке, для расчета валового выброса выделяемой пыли на площадке от строительных работ, ежедневных показателей максимально разовой и среднесуточной концентрации, а также к рассеиванию пыли с определением зон превышения показателей ПДК является использование сетевого моделирования с дальнейшей календаризацией для прогнозирования этих видов показателей в ходе проектирования и реализации строительного производства.

**Выводы:** на основе полученных данных можно сделать вывод, что при существующей реализуемой организации и технологии производства работ, показатели концентрации частиц мелкодисперсной пыли находятся в пределах ПДК, но учитывая фоновые концентрации атмосферного воздуха г. Ростова-на-Дону, данные показатели на конкретной территории будут превышать допустимые ПДК. Процесс использования имеющихся моделей СМР с учетом удельных пылевых выбросов, разработка расписания пылевого загрязнения конкретной территории с учетом природных, климатических факторов и определение зон превышения показателей ПДК в процессе моделирования рассеивания частиц мелкодисперсной пыли за границы забора строительной площадке позволят составить паспорт экологической безопасности близлежащей урбанизированной территории при точечной застройке. Ежедневное установление показателей пылевого загрязнения сможет позволить скорректировать расписание строительных работ. Моделирование рассеивания строительной пыли с учетом направления и скорости ветра даст возможность ежедневно контролировать зоны превышения ПДК соседней территории и скорректировать мероприятия, позволяющие погасить пылевые выбросы на строительной площадке.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, защита атмосферного воздуха, мелкодисперсная пыль, точечная застройка, пылевое загрязнение.

## ВВЕДЕНИЕ

Строительная отрасль считается одним из значительных источников ущерба окружающей среды. На её долю приходится около 20-50% потребления природных ресурсов, 50% выбросов углекислого газа и 50% общего объема твердых отходов во всем мире. По данным доклада Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП) на 2021-2030 г.г., на строительные работы приходится 20% глобальных выбросов CO<sub>2</sub> в 2020 г., связанных с производством работ [1]. Строительные работы могут привести к образованию большого количества пылевого загрязнения, включая земляные работы, армирование, пескоструйную обработку, сверление / шлифование и каменные работы. Этому виду пыли свойственно загрязнять окружающую среду, строительная пыль считается одним из наиболее значительных загрязнителей, угрожающих здоровью человека [2]. Воздействие строительной пыли на окружающую среду городской территории, а также на здоровье и безопасность людей стало на сегодняшний день большой экологической проблемой. Например, пыль от строительных работ, особенно мелкодисперсная пыль PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub>, наносит вред здоровью жителей соседних территорий и строителей в рабочей зоне производства работ, поскольку высокое воздействие, даже в течение короткого периода, может привести, например, к силикозу [3,4].

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Ухудшению состояния окружающей среды за счет пылевого загрязнения атмосферного воздуха городской среды уделено большое внимание на отечественном [5-9] и международном [10-12] научном уровнях. Последствия пылевого загрязнения оказывают влияние на все этапы жизненного цикла здания, от начала работ на строительной площадке до завершения, эксплуатации и сноса [13]. Фундаментальных исследований по расчету пылевыделения от строительных работ при точечной застройке не имеется. На основании проведенных ранее натурных исследований с применением счетчика частиц Handheld 3016 были получены данные пылевых выбросов от строительных процессов при различных климатических воздействиях [14].

Несмотря на то, что этап реализации производства работ длится недолго по сравнению с другими этапами жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта, он оказывает ряд значительных воздействий на окружающую среду [15].

Строительство является одной из важных отраслей промышленности в нашей стране. Развитие этой отрасли оказывает существенное влияние на состояние экономики, уровень безработицы и привлекательность инвестиций государства и коммерческих организаций.

Вопросам исследования пылевых выбросов, особенно мелкодисперсной пыли в строительной индустрии уделено большое внимание в работах Азарова В.Н. [16], Сидельниковой О.Е. [17], Стреляевой А.Б. [18], Теличенко В.И. [19], Мензелинцевой Н. В. [20], Кошкарева С.А. [21], Ильичева В.А. [22], Колчунова В.И. [23], Бакаевой Н.В. [24], Богуславского Е.И. [25] и других ученых, но с развитием строительной отрасли и увеличением масштабов строительного производства в городах, мегаполисах, населенных пунктах, где в стесненных условиях в плотной городской застройке образуются строительные площадки с возводимыми новыми зданиями, жилыми комплексами с поэтапной очередностью ввода зданий в эксплуатацию и сооружениями различной высоты, необходимо комплексно оценить и исследовать строительную площадку как источник загрязнения, определить и оценить все источники пылевого загрязнения на строительной площадке, процессы распространения пылевого загрязнения в городской среде, в которой уже существует определенный уровень загрязнения, свойственный климатическим, природным, рельефным особенностям территории. Если в городе существует исторический центр со зданиями, чье наличие, физический и моральный износ находится под контролем федеральных и региональных властей, и они являются памятниками архитектуры и культуры, которые требуют работ по реконструкции и реставрации, но уже их расположение окружено со временем обновленной, населенной, «обжитой» городской средой, то ежегодно в таких городах образуются десятки строительных площадок, с различным сроком производства работ, что на определенное время усиливает пылевое загрязнение близлежащей территории, жилой зоны, и требует проработки экологических, управленческих, организационных и технических решений для недопуска распространения пыли за пределы строительной площадки.

В данной статье предложен анализ данных по натурным исследованиям степени запыленности атмосферного воздуха территории г. Ростова-на-Дону, объема выбросов строительной пыли от производимых строительных работ, предложен метод расчета и распространения пылевого загрязнения, показателей максимальной, среднесуточной концентрации выбросов мелкодисперсной пыли PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub> образующихся от строительного производства и возможности контроля за уровнем загрязнения на строительной площадке по средствам расширения функциональных характеристик существующих проектных решений, наглядных, структурированных как календарный график производства работ с применением сетевого моделирования, что даёт возможность систематизировать данные, на примере пылевых выбросов от строительного производства, производить контроль со стороны курирующих

строительный процесс органов и структур предметно, ссылаясь на конкретные проектные решения, а подрядчикам мониторить показатели пылевого загрязнения в динамике, планировать и координировать строительное производство отталкиваясь от данных в реальном времени.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

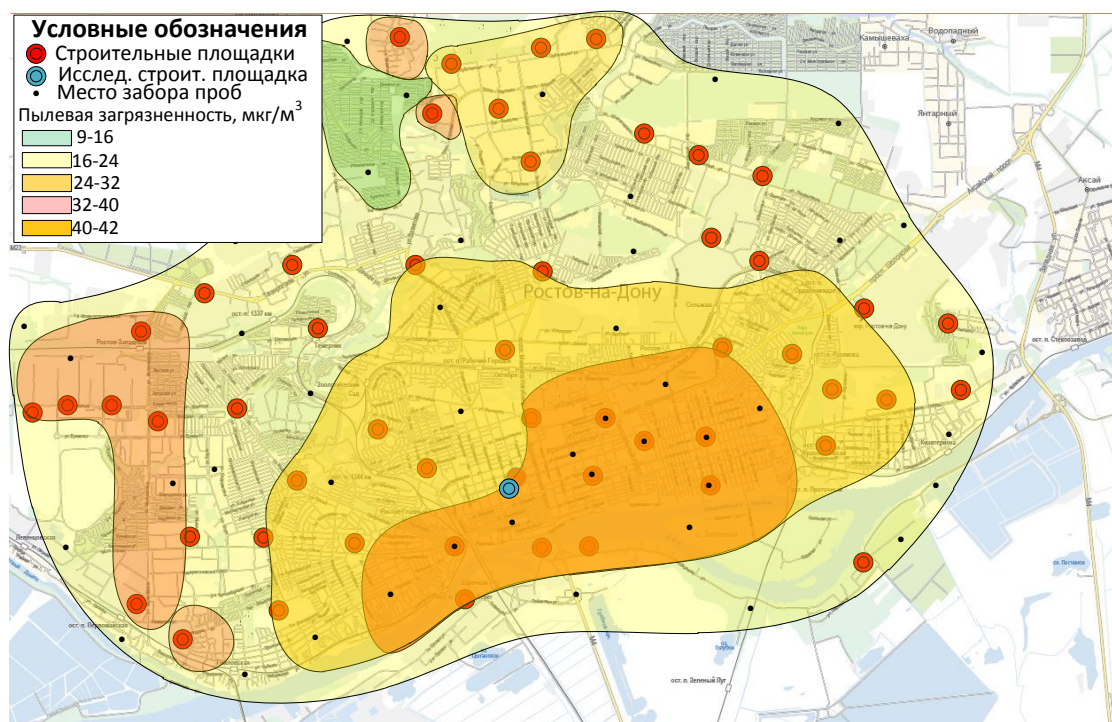
Весь процесс исследования был разделен на три этапа.

Первый этап предполагал проведение систематических измерений степени запыленности г. Ростова-на-Дону принимая во внимание типичные климатические, природные факторы территории, на которой располагается город. Особое внимание необходимо было уделить местам, где на текущий момент располагаются строительные площадки с возведением новых объектов

капитального строительства и реконструкцией старого фонда. Исходя из данных предыдущих исследований [26-29] была поставлена задача определить динамику изменений пылевой загрязненности территории и текущую ситуацию в связи с увеличением объемов строительного производства в городе.

Измерения проводились с помощью ручного счетчика частиц Lighthouse Handheld 3016 IAQ один раз в неделю в 44 одинаковых установленных местах на протяжении 26 недель. В результате анализа данных полученных измерений была разработана схема приземной и фоновой концентрации запыленности территории г. Ростова-на-Дону, представленная на рисунке 1.

Вторым этапом стал систематический контроль за несколькими строительными площадками, где возводились схожие по технологии и условиям жилые комплексы в наиболее запыленной зоне г. Ростова-на-Дону [30].



**Рис. 1.** Схема приземной и фоновой концентрации запыленности территории г. Ростова-на-Дону.  
**Fig. 1.** Scheme of surface and background dust concentration of the territory of Rostov-on-Don.

Третим этапом стал выбор пяти строительных площадок для разработки календарного графика выполнения строительно-монтажных работ с учетом удельных выбросов частиц пыли и климатических условий для расчета пылевого фактора загрязнения окружающей среды. На основе полученных данных с этих строительных площадок были разработаны сетевые модели с календарными графиками, эпорами распределения пыли по периодам строительства. Сравнивая натурные

данные, полученные в ходе измерения пылевых выбросов от строительных процессов на площадках, было определено, что разница между показателями составляла 1-2%.

Одним из объектов внедрения проектного решения послужила строительная площадка г. Ростова-на-Дону на ул. Пушкинская 97 11-этажного многоквартирного жилого дома, представленная на рисунке 2.



**Рис. 2.** Строительная площадка 11-этажного многоквартирного жилого дома по ул. Пушкинская 97, г. Ростов-на-Дону.  
**Fig. 2.** The construction site of an 11-storey apartment building on 97 Pushkinskaya Street, Rostov-on-Don.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Эффективным подходом, который может быть с пользой применен к определению пылевых выбросов на строительной площадке, для расчета валового выброса выделяемой пыли на площадке от строительных работ, ежедневных показателей максимально разовой и среднесуточной концентрации, а также к рассеиванию пыли с определением зон превышения показателей ПДК является использование сетевого моделирования с дальнейшей календаризацией для прогнозирования этих видов показателей в ходе проектирования и реализации строительного производства.

При производстве строительных работ предполагается использовать метод календарного планирования. Этот метод, который включает расписание выполнения строительных работ с определением пылевых выбросов, позволяет определить в любой промежуток времени объемов выделяемого пылевого загрязнения при производстве строительных работ и применять имеющиеся или предлагаемые способы сокращения вредных выбросов [31].

Для проведения процесса разработки расписания строительно-монтажных работ при точечной застройке с учетом удельных выбросов пыли и климатических условий для расчета пылевого фактора загрязнения окружающей среды было необходимо согласно данным удельного объема выбросов пыли по всем строительным работам, которые проводились в ходе экологического мониторинга текущих и предыдущих строительных площадок, на которых было развернуто строительное производство, разработать программу по способу расчета удельных показателей выбросов пыли для строительного производства, прогнозирования рассеивания пылевых частиц мелкодисперсной пыли PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub> от источника производства строительного процесса с учетом природных и климатических факторов для дальнейшего предотвращения распространения пылевого загрязнения на территории соседней застройки.

Согласно постановлению Правительства РФ от 16.02.2008г. №87 «О составе проектной документации и требованиям к их содержанию», в состав проектно-сметной документации для возведения объектов капитального строительства в обязательном порядке должны быть включены разделы «Проекта организации строительства» и

«План мероприятия по охране окружающей среды» [32].

Для процесса моделирования из раздела проекта организации строительства необходимы следующие исходные данные:

- характеристика района по месту расположения объекта строительства и условий строительства;
- характеристика земельного участка;
- описание особенностей проведения работ в условиях стесненной городской застройки;
- обоснование принятой организационно-технологической схемы, определяющей последовательность возведения зданий и сооружений, инженерных и транспортных коммуникаций, обеспечивающей соблюдение установленных в календарном плане строительства, реконструкции, капитального ремонта сроков завершения строительства;
- перечень видов строительных и монтажных работ;
- технологическая последовательность работ при возведении объектов капитального строительства или их отдельных элементов;
- описание проектных решений и мероприятий по охране окружающей среды в период строительства, реконструкции, капитального ремонта;
- календарный план строительства, реконструкции, капитального ремонта, включая подготовительный период (сроки и последовательность строительства, реконструкции, капитального ремонта основных и вспомогательных зданий, строений и сооружений, выделение этапов строительства, реконструкции).

На основе исходных данных, отраженных в проекте производства работ на строительство 11-этажного многоквартирного жилого дома по ул. Пушкинская, 97 мы имеем исходные данные для выполнения расписания работ на базе сетевого графика и календарного плана.

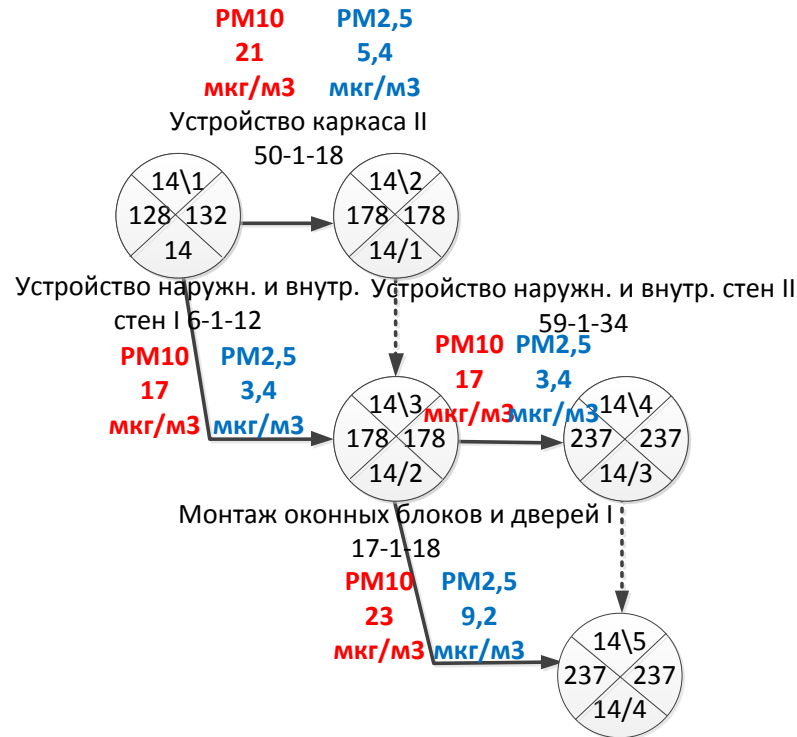
В период исследования строительной площадки преобладало северо-восточное направление ветра, площадка строительства огорожена плотной городской застройкой, что при средних показателях скорости ветра в г. Ростове-на-Дону в 5м/с, дало показатель скорости вблизи территории строительства в 2-3м/с, влажность воздуха была в пределах 60-65%.

Участок строительства, ровный, окруженный с восточной и западной стороны плотной городской застройкой высотой 10-50м., с северной стороны участок выходит на дорогу средней загруженности

по ул. Максима Горького, с юга - на пешеходный бульвар ул. Пушкинская без движения автомобильного транспорта.

Здание по конструктивной схеме представляет собой 9-11 этажный 2 секционный многоквартирный жилой дом, выполненный из монолитного каркаса с наружными стенами из мелкоштучных материалов и нанесением декоративной штукатурки на фасад. Общая

площадь объекта - 17 695,34 м<sup>2</sup>, площадь строительной площадки - 4 320,00 м<sup>2</sup>. Срок строительства – 315 дней. На основе полученных данных выполнена сетевая модель СМР с учетом удельных показателей выбросов частиц мелкодисперсной пыли PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub> на протяжении периода производства работ, фрагмент модели представлен на рисунке 3.



**Рис. 3.** Фрагмент сетевого графика с учетом удельного объема выброса частиц мелкодисперсной пыли PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub>.  
**Fig. 3.** The fragment of a network graph taking into account the specific volume of fine dust particles PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>.

На основании сетевой модели выполнено при помощи графика Ганта календаризация строительных работ с учетом пылевых выбросов на протяжении всего строительства, эпюра удельных пылевых выбросов, которая проецирует ежедневный суммарный валовый объем пылевого загрязнения частиц мелкодисперсной пыли PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub> дает возможность определить качественные и количественные показатели ПДК и в зависимости от условий применять мероприятия по нераспространению пылевого загрязнения за пределы забора строительной площадки. Для составления расписания строительных процессов, способствующих образованию и рассеиванию пылевых частиц PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub> разработана программа расчета, предлагается следующая инструкция производства работ:

1. Необходимо знать какие виды пыли выделяются от разных видов строительных работ, прилагать паспорт пыли на каждый строящийся объект к ПМООС.
2. Необходимо для прораба заказывать ежемесячно метеосводку со следующими данными: направление ветра, скорость ветра.
3. Необходимо разработать график и эпюру пылевых выбросов во времени, которые представлены на рисунке 4, что даст возможность ежедневно определять суммарный объем выделяемого пылевого загрязнения, данные взятые с графика необходимы для выполнения моделирования процесса рассеивания пылевого загрязнения.

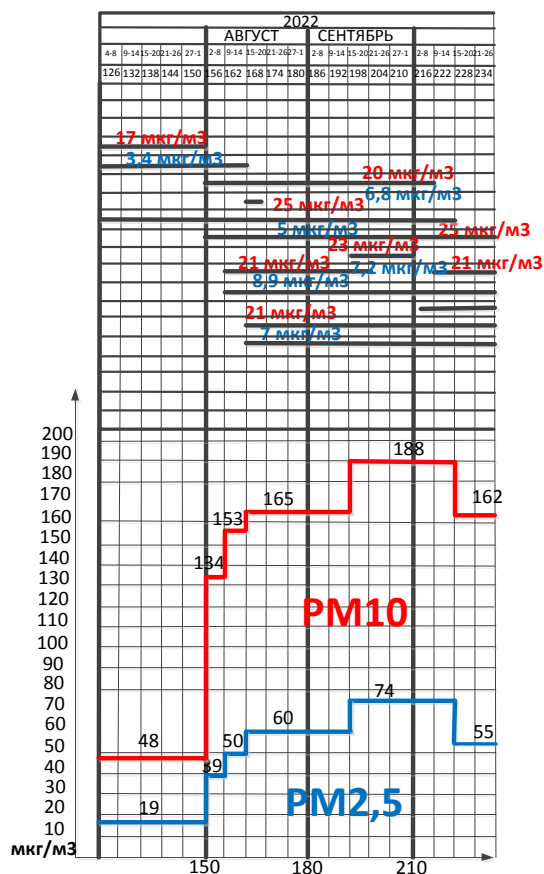


Рис. 4. Фрагмент графика удельных показателей пылевых выбросов 11-этажного многоквартирного жилого дома.  
 Fig. 4. A fragment of the graph of specific indicators of dust emissions of an 11-storey apartment.

4. Необходимо выполнить моделирование рассеивания пылевых частиц от точечного источника (рабочей зоны) с учетом вектора скорости ветра, превышение концентрации пыли относительно ПДК, для удобства данного этапа в данный момент готовится программный комплекс для ЭВМ. В результате оказывается возможным учесть вероятностные реализации всех ветровых ситуаций за определенный отрезок времени, при которых могут возникнуть опасные зоны, в которых могут быть нарушены установленные нормы ПДК на конкретный промежуток времени.

5. Авторский надзор, мастер, прораб, инженер по ТБ должны следить по расписанию работ за выделением вредных выбросов пыли в любой период времени строительства.

В результате проведенной работы мы имеем возможность рассчитать для данного строительного производства суммарный валовый выброс пылевого загрязнения выделяемого на строительной площадке, путем расчета площади  $S$  эпюры пылевых выбросов. Таким образом, за 315 рабочих дней строительного производства валовый выброс частиц мелкодисперсной пыли PM10 составит 35,4 мг/с, PM2,5 – 12,4 мг/с. Суммарный валовый выброс мелкодисперсной пыли составит 47,78 мг/с.

Показатель максимальной концентрации за период строительства объекта составит 262 мкг/м³. Среднегодовая концентрация составит 151,7 мкг/м³.

Среднесуточная концентрация может определяться ежедневно, в зависимости от расписания выполняемых работ, например в период максимальной загруженности строительного производства, среднесуточная концентрация составит 131 мкг/м³.

## ВЫВОДЫ

На основе полученных данных можно сделать вывод, что при существующей реализуемой организации и технологии производства работ, показатели концентрации частиц мелкодисперсной пыли находятся в пределах ПДК, но учитывая фоновые концентрации атмосферного воздуха г. Ростова-на-Дону, данные показатели на конкретной территории будут превышать допустимые ПДК. Процесс использования имеющихся моделей СМР с учетом удельных пылевых выбросов, разработка расписания пылевого загрязнения конкретной территории с учетом природных, климатических факторов и определение зон превышения показателей ПДК в процессе моделирования рассеивания частиц мелкодисперсной пыли за границы забора строительной площадке позволят составить паспорт экологической безопасности близлежащей урбанизированной территории при точечной застройке. Ежедневное установление показателей пылевого загрязнения сможет позволить скорректировать расписание

строительных работ. Моделирование рассеивания строительной пыли с учетом направления и скорости ветра даст возможность ежедневно контролировать зоны превышения ПДК соседней территории и скорректировать мероприятия, позволяющие погасить пылевые выбросы на строительной площадке.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kaja, Nagaraju, Stuti Goyal. Impact of construction activities on environment. *International Journal of Engineering Technologies and Management Research*. 2023. Vol. 10(1). Pp. 17–24. DOI:10.29121/ijetmr.v10.i1.2023.1277.
2. Amartye Ernest Laryea Nii, Onibudo Oluwasegun, Anamor Samuel Kofi et al. Dust Sources and Impact: A Review. *North American Academic Research*. 2022. Vol. 5. Pp. 17-37. DOI:10.5281/zenodo.7068922.
3. Carlo Rebecca, Sheehy John, Feng H Ami, Sieber K William. Laboratory Evaluation to Reduce Respirable Crystalline Silica Dust When Cutting Concrete Roofing Tiles Using a Masonry Saw. *Journal of occupational and environmental hygiene*. 2010. Vol.7. Pp. 245-51. DOI: 10.1080/15459620903579695.
4. Ali Tariq Eqani, Syed Ali Mustjab Akber Shah Eqani, Muhammad Sadiq, Tassawur Khanam. Dust Effects and Human Health. Pp. 1-15. DOI: 10.1007/978-3-031-21209-3\_1.
5. Baglaeva E.M. Sergeev A.P, Buevich A.G. et. al. 2019. Particulate matter size distribution in air surface layer of Middle Ural and Arctic territories. *Atmospheric Pollution Research*. 2019. Vol. 4. Pp. 1220-1226. DOI:10.1016/j.apr.2019.02.005
6. Menzelintseva N.V., Karapuzova N.Y., Mikhailovskaya Y.S., Redhwan A.M., Efficiency of standards compliance for PM(10) and PM(2,5), *International Review of Civil Engineering*. 2016. Vol. 7(6). Pp. 1-8. DOI: 10.15866/irece.v7i6.9750.
7. Азаров В.Н., Кузьмичев А.А., Николенко Д.А., Васильев А.Н., Козловцева Е.Ю. Исследование дисперсного состава пыли городской среды // Вестник МГСУ. 2020. (15). С. 432–442. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.3.432-442
8. Ilyichev, V.A., Kolchunov, V.I., Bakaeva N.V. Issues of comfort and safety of the urban environment and their solution within the framework of legislative and regulatory documents. *Building and reconstruction*. 2021. Vol. 94. Pp. 74-85. DOI: 10.33979/2073-7416-2021-94-2-74-85.
9. Hanfi M.Y.M., Yarmoshenko I. V., Seleznev A.A. Gross Alpha and Gross Beta Activity Concentrations in the Dust Fractions of Urban Surface-Deposited Sediment in Russian Cities. *Atmosphere*. 2021. Vol. 12(5). 1-8. DOI: 10.3390/atmos12050571.
10. Jinding Xing, Ye Kunhui, Zuo Jian, Jiang Weiyang. Control Dust Pollution on Construction Sites: What Governments Do in China? *Sustainability*. 2018. Vol. 10(8). Pp. 1-17. DOI: 10.3390/su10082945.
11. Nakanishi Yutaro, Kaneta Takashi, Nishino Sayaka. A Review of Monitoring Construction Equipment in Support of Construction Project Management. *Frontiers in Built Environment*. 2022. Vol. 7. Pp.1-11. DOI: 10.3389/fbuil.2021.632593.
12. Kumi Louis, Jeong Jaewook et al. Empirical Analysis of Dust Health Impacts on Construction Workers Considering Work Types. *Buildings*. 2022. Vol. 12. Pp. 1-15. DOI: 10.3390/buildings12081137.
13. Larionova Yuliya, Smirnova Elena. Substantiation of Ecological Safety Criteria in Construction Industry, and Housing and Communal Services. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 543. Pp. 1-6. DOI:10.1088/1755-1315/543/1/012002.
14. Манжилевская С. Е. Влияние мелкодисперсной пыли на окружающую среду при локальном строительстве / С. Е. Манжилевская // Строительство и реконструкция. – 2020. – № 6(92). – С. 86-98. DOI 10.33979/2073-7416-2020-92-6-86-98.
15. Nezhnikova Ekaterina, Larionov Arkadiy, Smirnova Elena. Ecological risk assessment to substantiate the efficiency of the economy and the organization of construction. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2021. Vol. 27. Pp. 1-11. DOI: 10.1080/10807039.2021.1949262.
16. Azarov V.N., Barikaeva N.S. and Solovyeva T.V. Monitoring of fine particulate air pollution as a factor in urban planning decisions. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 150. Pp. 2001-2007. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.279.
17. Azarov V.N., Trokhimchyk M.K., Sidelnikova O.E., Research of dust content in the earthworks working area. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 150. Pp. 2008-2012, DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.282.
18. Стрелева А. Б., Калюжина Е. А. Экологическая безопасность при проведении земляных и строительно-отделочных работ // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. 50(69). С. 321-329.
19. Сумеркин Ю.А., Теличенко В.И., Оценка экологической безопасности придомовых территорий жилых районов // Промышленное и гражданское строительство. 2017. (6). С. 75–79.
20. Михайловская Ю. С., Мензелинцева Н. В., Карапузова Н. Ю., Лактюшин В. А., Богомолов С. А. Научно-методический подход к определению экологического ущерба от выбросов предприятий строительного комплекса // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. 43(62). С. 189-198.
21. Азаров В. Н., Кошкарёв С. А. Повышение экологической безопасности стройиндустрии совершенствованием систем обеспыливания с использованием комплексного дисперсионного анализа пылевых выбросов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. 43(62). С. 161—174.

22. Ilyichev, V. A. Estimation of Indicators of Ecological Safety in Civil Engineering / V. Ilyichev, S. Emelyanov, V. Kolchunov, N. Bakayeva, S. Kobeleva. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 117. Pp. 126 -131. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.133

23. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В., Кобелева С.А. Оценка экологической безопасности строительства на основе модели полного ресурсного цикла. Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. 2016. (4). С. 169-176.

24. Бакаева Н.В., Калайдо А.В. Обеспечение радиационно-экологической безопасности объектов строительства. Строительство и реконструкция. 2018. (3). С 39-45.

25. Богуславский, Е. И. Оценка концентрации и дисперсного состава пыли в воздухе рабочих и обслуживаемых зон / Е. И. Богуславский, В. Н. Азаров // Безопасность жизнедеятельности. – 2005. – № 2. – С. 46-47.

26. Манжилевская С.Е., Морозов А.В. Разработка и применение в проектировании модели локализации строительного производства с целью повышения экологической безопасности//Вестник Евразийской науки, 2019 №5, <https://esj.today/PDF/01SAVN519.pdf>

27. Манжилевская С.Е., Петренко Л.К., Альшенко Д.Н. Организационно-технологические и градостроительные мероприятия, направленные на повышение уровня экологической безопасности территории г. Ростова-на-Дону // Вестник Евразийской науки, 2019 №4, <https://esj.today/PDF/04SAVN419.pdf>

28. Манжилевская С.Е., Петренко Л.К., Шиндиян Г.А. Систематизация мероприятий по охране и улучшению окружающей среды г. Ростова-на-Дону // Вестник Евразийской науки, 2019 №3, <https://esj.today/PDF/62SAVN319.pdf>

29. Azarov Valery, Manzhilevskaya Svetlana, Petrenko Lubov. The pollution prevention during the civil construction. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 196(04073). Pp. 1-7. DOI: 10.1051/mateconf/201819604073.

30. Manzhilevskaya Svetlana, Petrenko Lubov, Azarov Valery. Vertical distribution of fine dust during construction operations. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2021. Vol. 1259. Pp. 324–331. DOI: 10.1007/978-3-030-57453-6\_28.

31. Manzhilevskaya Svetlana, Petrenko Lubov, Azarov Valery. Monitoring methods for fine dust pollution during construction operations. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2021. Vol. 1259. Pp. 332–340. DOI: 10.1007/978-3-030-57453-6\_29.

32. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008г. №87 «О составе проектной документации и требованиям к их содержанию» - М.: Правительство РФ, 2008. – 84с.

## REFERENCES

1. Kaja, Nagaraju, Stuti Goyal. Impact of construction activities on environment. *International Journal of Engineering Technologies and Management Research*. 2023. Vol. 10(1). Pp. 17–24. DOI:10.29121/ijetmr.v10.i1.2023.1277.

2. Amartey Ernest Laryea Nii, Onibudo Oluwasegun, Anamor Samuel Kofi et al. Dust Sources and Impact: A Review. *North American Academic Research*. 2022. Vol. 5. Pp. 17-37. DOI:10.5281/zenodo.7068922.

3. Carlo Rebecca, Sheehy John, Feng H Ami, Sieber K William. Laboratory Evaluation to Reduce Respirable Crystalline Silica Dust When Cutting Concrete Roofing Tiles Using a Masonry Saw. *Journal of occupational and environmental hygiene*. 2010. Vol.7. Pp. 245-51. DOI: 10.1080/15459620903579695.

4. Ali Tariq Eqani, Syed Ali Mustjab Akber Shah Eqani, Muhammad Sadiq, Tassawar Khanam. Dust Effects and Human Health. Pp. 1-15. DOI: 10.1007/978-3-031-21209-3\_1.

5. Baglaeva E.M. Sergeev A.P, Buevich A.G. et. al. 2019. Particulate matter size distribution in air surface layer of Middle Ural and Arctic territories. *Atmospheric Pollution Research*. 2019. Vol. 4. Pp. 1220-1226. DOI:10.1016/j.apr.2019.02.005

6. Menzelintseva N.V, Karapuzova N.Y., Mikhailovskaya Y.S., Redhwan A.M., Efficiency of standards compliance for PM(10) and PM(2,5), *International Review of Civil Engineering*. 2016. Vol. 7(6). Pp. 1-8. DOI: 10.15866/irece.v7i6.9750.

7. Azarov V.N., Kuzmichev A.A., Nikolenko D.A., Vasilev A.N., Kozlovtseva E.Yu. The research of dust dispersed composition of urban environment. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2020. 15(3). Pp. 432-442. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.3.432-442.

8. Ilyichev, V.A., Kolchunov, V.I., Bakaeva N.V. Issues of comfort and safety of the urban environment and their solution within the framework of legislative and regulatory documents. *Building and reconstruction*. 2021. Vol. 94. Pp. 74-85. DOI: 10.33979/2073-7416-2021-94-2-74-85.

9. Hanfi M.Y.M., Yarmoshenko I. V., Seleznev A.A. Gross Alpha and Gross Beta Activity Concentrations in the Dust Fractions of Urban Surface-Deposited Sediment in Russian Cities. *Atmosphere*. 2021. Vol. 12(5). 1-8. DOI: 10.3390/atmos12050571.

10. Jinding Xing, Ye Kunhui, Zuo Jian, Jiang Weiyang. Control Dust Pollution on Construction Sites: What Governments Do in China? *Sustainability*. 2018. Vol. 10(8). Pp. 1-17. DOI: 10.3390/su10082945.

11. Nakanishi Yutaro, Kaneta Takashi, Nishino Sayaka. A Review of Monitoring Construction Equipment in Support of Construction Project Management. *Frontiers in Built Environment*. 2022. Vol. 7. Pp.1-11. DOI: 10.3389/fbuil.2021.632593.

12. Kumi Louis, Jeong Jaewook et al. Empirical Analysis of Dust Health Impacts on Construction Workers Considering Work Types. *Buildings*. 2022. Vol. 12. Pp. 1-15. DOI: 10.3390/buildings12081137.

13. Larionova Yuliya, Smirnova Elena. Substantiation of Ecological Safety Criteria in Construction Industry, and Housing and Communal Services. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 543. Pp. 1-6. DOI:10.1088/1755-1315/543/1/012002.
14. Manzhilevskaya S. E. Impact of fine dust on the environment in local construction. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2020. Vol. 6(92). Pp. 86-98. DOI 10.33979/2073-7416-2020-92-6-86-98.
15. Nezhnikova Ekaterina, Larionov Arkadiy, Smirnova Elena. Ecological risk assessment to substantiate the efficiency of the economy and the organization of construction. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2021. Vol. 27. Pp. 1-11. DOI: 10.1080/10807039.2021.1949262.
16. Azarov V.N., Barikaeva N.S. and Solovyeva T.V. Monitoring of fine particulate air pollution as a factor in urban planning decisions. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 150. Pp. 2001-2007. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.279.
17. Azarov V.N., Trokhimchyk M.K., Sidelnikova O.E., Research of dust content in the earthworks working area. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 150. Pp. 2008-2012, DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.282.
18. Strelyaeva A. B., Kalyuzhina E. A. Environmental safety of earthworks and construction and decoration works. *Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture*. 2017. 50(69). Pp. 321-329.
19. Sumerkin Yu. A., Telichenko V. I. Assessment of ecological safety of territories adjoining residential areas. *Industrial and Civil Engineering*. 2017. 6. Pp. 75–79.
20. Mikhailovskaya Yu. S., Menzelintseva N. V., Karapuzova N. Yu., Laktyushin V. A., Bogomolov S. A. Scientific-methodological approach to the assessment of ecological damage from emissions of enterprises of the building complex. *Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture*. 2016. 43(62). Pp. 189-198.
21. Azarov V. N., Koshkarev S. A. Increase of environmental safety of construction industry by improvement of decreasing dust systems using integrated analysis of variance dust emissions. *Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture*. 2016. 43(62). Pp. 161-174.
22. Ilyichev, V. A. Estimation of Indicators of Ecological Safety in Civil Engineering / V. Ilyichev, S. Emelyanov, V. Kolchunov, N. Bakayeva, S. Kobeleva. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 117. Pp. 126 -131. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.133
23. Ilyichev, V.A., Kolchunov, V.I., Bakaeva, N.V., Kobeleva, S.A. Assessment of environmental safety of construction based on a model of a complete resource cycle. *Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture*. 2016. (4). Pp. 169-176.
24. Bakaeva N.V., Kalaydo A.V. Ensuring the radiation-ecological safety of constructions. *Building and Reconstruction*. 2018. (3). Pp. 39-45.
25. Boguslavsky E. I. Assessment of the concentration and dispersed composition of dust in the air of working and serviced zones / E. I. Boguslavsky, V. N. Azarov // *Life safety*. 2005. Vol. 2. Pp. 46-47.
26. Manzhilevskaya S.E., Morozov A.V. Development and constructional design application of a model for the localization of construction operations in order to improve environmental safety. *The Eurasian Scientific Journal*, [online]. 2019. Vol. 5(11). System requirements: AdobeAcrobatReader. URL:: <https://esj.today/PDF/01SAVN519.pdf> (date of application: 03.10.2016).
27. Manzhilevskaya S.E., Petrenko L.K., Alshenko D.N. Organizational, technological and town-planning measures aimed at increasing the level of environmental safety in the territory of Rostov-on-Don. *The Eurasian Scientific Journal*, [online]. 2019. Vol. 4(11). Available at: <https://esj.today/PDF/04SAVN419.pdf> (in Russian).
28. Manzhilevskaya S.E., Petrenko L.K., Shindiyan G.A. Systematization of measures for protecting and improving the environment of the city of Rostov-on-Don. *The Eurasian Scientific Journal*, [online]. 2019. Vol. 3(11). Available at: <https://esj.today/PDF/62SAVN319.pdf> (in Russian).
29. Azarov Valery, Manzhilevskaya Svetlana, Petrenko Lubov. The pollution prevention during the civil construction. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 196(04073). Pp.1-7. DOI:10.1051/mateconf/201819604073.
30. Manzhilevskaya Svetlana, Petrenko Lubov, Azarov Valery. Vertical distribution of fine dust during construction operations. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2021. Vol. 1259. Pp. 324–331. DOI: 10.1007/978-3-030-57453-6\_28.
31. Manzhilevskaya Svetlana, Petrenko Lubov, Azarov Valery. Monitoring methods for fine dust pollution during construction operations. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2021. Vol. 1259. Pp. 332–340. DOI: 10.1007/978-3-030-57453-6\_29.
32. RF Government Regulation №88. About the composition of project documentation and requirements for their content. Russia. 2008.

## SCHEDULE OF CONSTRUCTION WORKS FOR SPOT CONSTRUCTION TO DETERMINE SPECIFIC DUST EMISSIONS

Manzhilevskaya S.E.

Don State Technical University,  
344001, Rostov-on-Don, Gagarin square, 1  
e-mail: smanzhilevskaya@yandex.ru

**Abstract.** The construction industry is one of the significant sources of environmental damage. The effects of dust pollution have an impact on all stages of the building's life cycle, from the start of work on the construction site to completion, operation and demolition. Despite the fact that the stage of work implementation does not last long in comparison with other stages of the life cycle of an investment and construction project, the construction stage has a number of significant impacts on the environment. The development of the construction industry requires the comprehensive assessment and investigation of the construction site as a source of pollution, identification and evaluation of all sources of dust pollution on the construction site, the processes of dust pollution propagation in an urban environment.

The article offers an analysis of data on field studies of the degree of atmospheric air pollution in the territory of Rostov-on-Don, an analysis of the volume of construction dust emissions from construction works, a method for calculating control over the implementation of construction processes and the spread of dust pollution generated in the atmospheric air, indicators of the maximum, average daily emission concentration of fine dust PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> formed from construction production and the ability to control the level of pollution on the construction site. There are no fundamental studies on the calculation of dust emission from construction works during spot construction. Based on the field studies conducted earlier using the Handheld 3016 particle counter, data on dust emissions from construction processes under various climatic influences were obtained.

**Subject:** analysis of data on field studies of the degree of atmospheric air dustiness in the territory of Rostov-on-Don, the volume of emissions of construction dust from construction work on construction sites in urban conditions.

**Materials and methods:** conducting systematic measurements of the degree of dust in Rostov-on-Don using the Lighthouse Handheld 3016 IAQ manual particle counter, taking into account typical climatic, heterogeneous factors of the territory on which the city is located. Systematic monitoring of several construction sites where residential complexes similar in technology and conditions were built in the most dusty area of Rostov-on-Don and the selection of five construction sites for the development of a calendar schedule for construction and installation work, taking into account specific emissions of dust particles and climatic conditions for calculating the dust pollution factor.

**Results:** an effective approach that can be usefully applied to the determination of dust emissions on the construction site, to calculate the gross emission of dust released on the site from construction work, daily indicators of the maximum single and average daily concentration, as well as to dust dispersion with the determination of zones exceeding the MPC indicators is the use of network modeling with further calendarization to predict these types of indicators during the design and implementation of construction production.

**Conclusions:** based on the data obtained, it can be concluded that with the existing implemented organization and technology of work, the concentration of fine dust particles are within the MPC, but given the background concentrations of atmospheric air in Rostov-on-Don, these indicators in a particular area will exceed the permissible MPC. The process of using existing SMR models taking into account specific dust emissions, the development of a schedule of dust pollution of a specific territory taking into account natural and climatic factors and the determination of zones of excess of MPC indicators in the process of modeling the dispersion of fine dust particles beyond the fence boundaries of the construction site will make it possible to draw up a passport of environmental safety of the nearby urbanized territory during spot development. Daily determination of dust pollution indicators will allow you to adjust the schedule of construction work. Modeling the dispersion of construction dust, taking into account the direction and speed of the wind, will make it possible to monitor the zones of exceeding the MPC of the neighboring territory on a daily basis and adjust measures to extinguish dust emissions at the construction site.

**Key words:** environmental safety, protection of atmospheric air, fine dust, infill construction, dust pollution.

УДК 628

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОКИСЛИТЕЛЬНО – ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ ГАЛЬВАНОКОАГУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКЕ СТОКОВ

Курилина<sup>1</sup> Т.А., Пазенко<sup>2</sup> Т.Я., Курилин<sup>3</sup> С.С.<sup>1-2</sup> Сибирский федеральный университет, г. Красноярск<sup>3</sup> АО «Востсибнефтегаз», г. Красноярскe-mail: <sup>1</sup>ctrelok91@mail.ru; <sup>2</sup>pazenkotat@yandex.ru; <sup>3</sup>Wizya91@mail.ru

**Аннотация** Одной из важнейших проблем экологии является очистка промышленных сточных вод от ионов тяжелых металлов. При решении этой проблемы используются различные методы: химические, физико-химические, сорбционные, но наиболее перспективным методом для очистки промышленных сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов, а именно меди, никеля и цинка является гальванокоагуляционный метод. Однако в литературе не достаточно освещены процессы цементации тяжелых металлов на катодной загрузке. Физико-химический подход к этому процессу необходим для подтверждения процесса выделения из сточной воды ионов тяжелых металлов в виде осадка и создания новых схем очистки промышленных сточных вод. Существенное значение в гальванокоагуляционном обезвреживании имеет состав загрузки, поэтому с целью определения влияния вида активной загрузки был использован углеродминеральный сорбент (СГН), полученный из руд скрытокристаллического графита (Ногинского месторождения Красноярского края). Исследования проводились в гальванокоагуляционном модуле путем пропускания сточной воды через загрузку, состоящую из смеси железной стружки и гранул углеродминерального сорбента на основе руд скрытокристаллического графита (СГН). Одновременно через загрузку барботировали диспергируемый в нижней части устройства воздух. В результате работы короткозамкнутого гальванического элемента Fe-СГН происходило растворение железного скрапа и его интенсивное окисление до  $Fe^{3+}$  кислородом воздуха. В статье рассмотрен механизм гальванокоагуляционного обезвреживания сточных вод на основе термодинамического анализа окислительно – восстановительных реакций, протекающих при гальванокоагуляционной очистке стоков.

**Предмет исследования:** служили как модельные, так и реальные сточные воды производства гальванических покрытий, содержащие ионы меди, цинка и никеля со следующими концентрациями:  $Cu_{исх.}^{2+} = 60$  мг/дм<sup>3</sup>;  $Ni_{исх.}^{2+} = 15$  мг/дм<sup>3</sup>;  $Zn_{исх.}^{2+} = 20$  мг/дм<sup>3</sup>

**Материалы и методы:** гальванокоагуляционное обезвреживание с использованием короткозамкнутого гальванического элемента Fe-СГН (углеродминеральный сорбент)

**Результаты:** изучены физико-химические закономерности гальванокоагуляционного процесса очистки сточных вод и определены термодинамические параметры реакций восстановления ионов тяжелых металлов

**Выводы.** Экспериментально установлена возможность интенсифицировать процесс гальванокоагуляции сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов путем применения в качестве катодной загрузки углеродминерального сорбента, что позволяет сократить время обработки при высоком эффекте очистки и образуется труднорастворимый осадок.

**Ключевые слова:** гальванокоагуляция, сточные воды, ионы тяжелых металлов, гальванопара

### ВВЕДЕНИЕ

В последние годы существенно обострились проблемы, связанные с загрязнениями воды. Кардинальное решение проблемы охраны окружающей среды состоит в разработке и внедрении экологически безопасных, безотходных технологических процессов и производств.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Как показывает анализ литературных источников и патентной документации, вопросам электрохимической очистки сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов посвящены многочисленные работы, но недостаточно освещены вопросы интенсификации гальванокоагуляционного процесса на очистных сооружениях различных отраслей промышленности для обеспечения эффективной обработки [1].

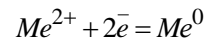
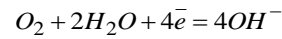
### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Принцип гальванокоагуляции состоит в образовании короткозамкнутых гальванических элементов при непрерывном перемешивании анодной и катодной загрузки мелкого фракционного состава в присутствии кислорода воздуха [2]. Такие условия создаются в «классическом» гальванокоагуляторе, который состоит из корпуса с размещенной в нем загрузкой: смесь железной стружки и материала, играющего роль «кислородного» электрода, в данном случае использовали углеродминеральный сорбент (СГН), полученный из руд скрытокристаллического графита (Ногинского месторождения Красноярского края) [3]. В нижней части корпуса осуществляется подача сжатого воздуха, через диспергатор, над которым расположена распределительная дырчатая перегородка и патрубков подачи сточной воды. Для предотвращения выноса загрузки в верхней части

расположена сетка и патрубок отвода отработанной воды.

Механизм гальванокоагуляционной очистки чрезвычайно сложен [4,5]. Химический состав и структура образующихся продуктов очистки анализируются с использованием самых современных методов анализа, однако однозначного мнения о механизме этого процесса нет [6], но можно предположить, что обезвреживание сточных вод определяется процессами, возникающими во время контактирования очищаемой воды и воздуха “с загрузкой”. На “кислородном” электроде, роль которого играет насыщенный газообразным кислородом – углеродминеральный сорбент (СГН),

происходит восстановление кислорода и ионов металлов с достаточно высоким электродным потенциалом:



Катионы  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  являются конкурирующими ионами. Наибольшая разность потенциалов соответствует паре  $Fe - Cu^{2+}$ , поэтому скорость осаждения меди больше, чем скорость других процессов, что и подтверждается данными эксперимента (рис. 1).

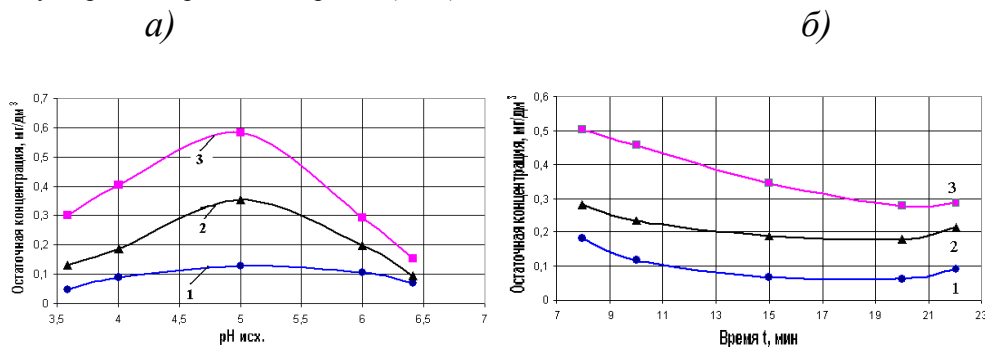


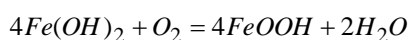
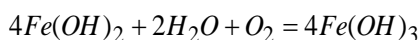
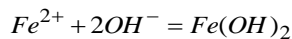
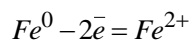
Рис. 1. Зависимости остаточной концентрации ионов тяжелых металлов от варьируемых параметров:

а) от pH исх.; б) от времени контакта 1. –  $Cu^{2+}$ ; 2 –  $Zn^{2+}$ ; 3 –  $Ni^{2+}$

Fig. 1. Dependences of the residual concentration of heavy metal ions on the varied parameters: a) from pH ex.; b) from contact time 1. –  $Cu^{2+}$ ; 2 –  $Zn^{2+}$ ; 3 –  $Ni^{2+}$

Нелинейный характер кривых для ионов  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  указывает на смену механизма реакции цементации во времени, за счет образования пленок восстановленных металлов  $Cu$  и  $Ni$ . Процесс восстановления цинка на железном скрапе не может осуществляться, т.к.  $Zn$  стоит перед  $Fe$  в ряду стандартных потенциалов. Удаление  $Zn^{2+}$  происходит за счет образования гидроксо соединений цинка и соосаждения с гидроксо соединениями железа.

На аноде происходит окисление железного скрапа:

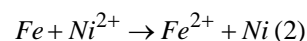
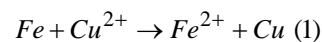


Превращение оксигидратных форм железа зависит от условий проведения процесса: величины pH, интенсивности процесса окисления, материала загрузки. Анализ процессов образования оксигидратов железа и механизма извлечения металлов при контакте сточных вод с гальванопарой ( $Fe - \text{углеродминеральный сорбент}$ ) и кислородом воздуха позволяет сделать вывод о том, что процесс

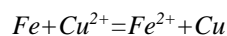
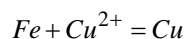
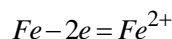
очистки может быть управляемым для проведения в оптимальном режиме.

После гальванокоагуляционной обработки эффект очистки по отдельным ионам составляет:  $\eta^{Cu^{2+}} = 99,86\%$ ;  $\eta^{Ni^{2+}} = 98\%$ ;  $\eta^{Zn^{2+}} = 98,80\%$ .

Гальванокоагуляционный метод позволяет проводить не только очистку сточных вод от ионов тяжелых металлов, но и дает частичное снижение содержания солей в растворе [7–9]. В основе этого метода лежит окислительно – восстановительные реакции, протекающие при цементации, которая заключается в замещении токсичных металлических ионов в водных растворах более активными металлами [10]. Ниже представлены уравнения окислительно – восстановительных реакций при цементации меди и никеля:



Реакция цементации меди состоит из двух полуреакций:



Её стандартный электродный потенциал составляет:

$$E^0 = 0,34 - (-0,44) = 0,78 \text{ В}$$

Положительная величина  $E^0$  свидетельствует о том, что реакция будет протекать самопроизвольно в прямом направлении (осадок образуется и не растворяется). Проверим полученную величину  $E^0$  термодинамическим путем. Изменение свободной энергии на моль определяется из следующего выражения:

$$\Delta G = -nFE^0,$$

где:  $n$  – число электронов, участвующих в реакции,  $F$  – постоянная Фарадея, т.е. заряд 1 моля электронов, равный 96485 Кл,  $E^0$  – электродный потенциал в соответствующем растворе.

Изменение свободной энергии для первой и второй полуреакций, составляющих реакцию [11]:

$$\Delta G_1^0 = -2FE_1^0 = -2 \cdot 96,5 \cdot (-0,44) = +84,92 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta G_2^0 = -2FE_2^0 = -2 \cdot 96,5 \cdot 0,34 = -65,62 \text{ кДж/моль}.$$

Вычитая первое изменение свободной энергии из второго, получим величину  $\Delta G^0$  для реакции:

$$\begin{aligned} \Delta G^0 &= \Delta G_2^0 - \Delta G_1^0 = -65,62 - 84,92 = \\ &= -150,54 \text{ кДж/моль} \end{aligned}$$

Полученное отрицательное значение  $\Delta G^0$  свидетельствует о том, что эта реакция самопроизвольно протекает слева направо.

Рассчитаем термодинамическим путем значение стандартного электродного потенциала для реакции:

$$E^0 = -\frac{\Delta G^0}{nF} = -\frac{(-150,54)}{96,5 \cdot 2} = \frac{150,54}{193} = +0,78 \text{ В}$$

Значение  $E^0$ , полученное из термодинамического анализа, совпадает с аналогичной величиной, рассчитанной ранее на основе стандартных электродных потенциалов. Это свидетельствует о правильности проведенных расчетов.

Для определения полноты протекания реакции рассчитаем ее константу равновесия для стандартных условий с помощью выражения, вытекающего из уравнения Нернста [12,13]:

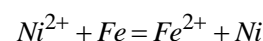
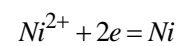
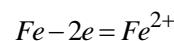
$$\lg K_p = \frac{nE^0}{0,059},$$

$$\lg K_p = \frac{2 \cdot 0,78}{0,059} = 26,4 \approx 26 \quad \text{и}$$

$$K_p = 10^{26}.$$

Найденная величина показывает, что в точке эквивалентности при равновесии, концентрация образующихся ионов на 26 порядков превышает концентрацию ионов, вступающих в реакцию, т.е. достигается практически полное превращение исходных веществ.

Аналогичные расчеты проведем для реакции цементации никеля:



Стандартный электродный потенциал реакции равен:

$$E^0 = E_2^0 - E_1^0 = -0,23 - (-0,44) = +0,21 \text{ В}.$$

Положительная величина  $E^0$  свидетельствует о том, что реакция будет протекать самопроизвольно в прямом направлении. Далее проверим величину  $E^0$  термодинамическим путем с использованием выражения  $\Delta G = -nFE^0$ .

Изменение свободной энергии для второй полуреакции составит:

$$\Delta G_2^0 = -2FE_2^0 = -2 \cdot 96,5 \cdot (-0,23) = 44,39 \text{ кДж/моль}$$

Величина  $\Delta G^0$  для реакции цементации никеля составит:

$$\Delta G^0 = \Delta G_2^0 - \Delta G_1^0 = 44,39 - 84,92 = -40,53 \text{ кДж/моль}$$

Отрицательное значение  $\Delta G^0$  свидетельствует о том, что реакция цементации самопроизвольно протекает слева направо.

Рассчитаем термодинамическим путем значение стандартного электродного потенциала для реакции:

$$E^0 = -\frac{\Delta G^0}{nF} = -\frac{(-40,53)}{96,5 \cdot 2} = \frac{40,53}{193} = +0,21B$$

В заключении рассчитаем константу равновесия для реакции цементации никеля. Она равна:

$$LgK_p = \frac{2 \cdot 0,21}{0,059} = 7,1 \quad \text{и} \quad K_p = 10^7$$

Результаты термодинамических расчетов по основным реакциям представлены в табл. 1.

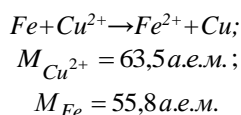
**Таблица 1** – Результаты термодинамических расчетов реакций восстановления  
**Table 1** – Results of thermodynamic calculations of reduction reactions

Окислительные восстановительные реакции	–	Стандартный электродный потенциал реакции, $E^0, B$	Изменение свободной энергии, $\Delta G^0$ , кДж/моль	Константа равновесия $K_p$
1.) $Fe + Cu^{2+} \rightarrow Fe^{2+} + Cu$		+0,78	-150,54	$10^{26}$
2.) $Fe + Ni^{2+} \rightarrow Fe^{2+} + Ni$		+0,21	-40,53	$10^7$

Термодинамические расчеты показали, что реакция цементации Cu и Ni необратимы, т.к. их значения  $K_p$  лежат в пределах от  $10^7$  до  $10^{26}$ . Положительный электродный потенциал рассматриваемых реакций и отрицательное изменение свободной энергии Гиббса свидетельствуют о том, что эти реакции протекают слева направо.

По уравнениям химических реакций проведен стехиометрический расчет затрат количества реагента (железа II) на восстановления меди.

1. Рассчитаем молекулярные массы (M) реагирующих соединений на примере уравнения реакции (1):



где а.е.м. – атомные единицы массы.

2. Определим количество железа, идущего на восстановление, для чего составляем пропорцию:

$$M_{Cu^{2+}} - \mu Fe^{2+};$$

$$M_{Cu^{2+}} - X_{Fe},$$

где M и X – количества соответствующих соединений, участвующих в химической реакции (масс.ч) или

**Таблица 2** – Результаты стехиометрических расчетов окислительно-восстановительных реакций  
**Table 2** – Results of stoichiometric calculations of redox reactions

Уравнения химической реакции в ионном виде	Расход реагента, кг/кг
1.) $Fe + Cu^{2+} \rightarrow Fe^{2+} + Cu$	0,88
2.) $Fe + Ni^{2+} \rightarrow Fe^{2+} + Ni$	0,95

$$63,5 \text{ а.е.м.} - 55,8 \text{ а.е.м.};$$

$$M_{Cu^{2+}} - X_{Fe},$$

отсюда  $X = M \cdot 55,8 : 63,5 = 0,88 M$ .

3. Определим количество железа, идущего на восстановление части (по массе) меди (II), для чего составляем пропорцию:

$$M_{Cu^{2+}} - \mu M_{Cu^0};$$

$$M_{Cu^{2+}} - Y_{Cu^0};$$

где Y – количество меди (II), участвующей в реакции (масс. ч.), или:

$$63,5 \text{ у.е.} - 63,5 \text{ у.е.};$$

$$M_{Cu^{2+}} - Y_{Cu^0},$$

отсюда:  $Y = M \cdot 63,5 : 63,5 = 1M \rightarrow M = Y : 1$ . Подставив это выражение в выражение для вычисления X, получим  $X = 0,88 \cdot Y : 1 = 0,88 Y$ . На восстановление 1 части (по массе) меди (II) требуется 0,88 части (по массе) двухвалентного железа.

Результаты расчетов для других реакций с реагентом ( $Fe^{2+}$ ) представлены в табл. 2.

Для выявления характера структуры образующихся на поверхности железа цементационных пленок приведены расчеты по критерию Пиллинга-Бедвордса ( $K_{П-Б}$ ) [14]:

$$K_{П-Б} = \nu \left[ \left( \frac{M_\tau}{d_\tau} \right) / \left( \frac{M_0}{d_0} \right) \right],$$

где  $\nu$  – число молей твердого продукта, образующегося на 1 моль исходного вещества ( по стехиометрии );  $M_0$  и  $M_\tau$  – молекулярные массы исходного и полученного вещества;  $d_0$  и  $d_\tau$  – плотности соответствующих веществ. В результате расчетов получены следующие данные:

$$K_{П-Б}(Cu^{2+}) = 1 \left[ \frac{63,5}{8,9} / \frac{55,8}{7,8} \right] = 0,997 \approx 1,0 ;$$

$$K_{П-Б}(Ni^{2+}) = 1 \left[ \frac{58,7}{8,8} / \frac{55,8}{7,8} \right] = 0,93 \approx 0,9 ;$$

Если величина  $K_{П-Б} > 1$ , то образуются сплошные пленки цементированного металла, с большим диффузионным сопротивлением. При  $K_{П-Б} < 1$  пленки цементированного металла имеют островковый характер, что снижает их диффузионное сопротивление. В случае  $K_{П-Б} = 1$  поверхностная пленка имеет смешанный характер. Результаты расчета указанного критерия приведены в табл. 3.

**Таблица 3** – Результаты расчета критерия Пиллинга–Бедвордса ( $K_{П-Б}$ )

**Table 3** – Calculation results of the Pilling–Bedwards criterion ( $K_{P-B}$ )

Вещества, участвующие в реакции	Fe <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>
Плотность, г/см <sup>3</sup>	7,8	8,9	8,8
Молекулярная масса, а.е.м.	55,8	63,5	58,7
Критерий Пиллинга–Бедвордса ( $K_{П-Б}$ )	–	1,0	0,9
Характер пленок на поверхности	–	смешанный	островковый

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Термодинамический анализ процессов цементации ионов тяжелых металлов, протекающих при гальванокоагуляционной очистке показал высокие значения констант равновесия реакций осаждения, что свидетельствует о том, что они являются практически не обратимыми.

## ВЫВОДЫ

Экспериментально установлена возможность интенсифицировать процесс гальванокоагуляции сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов путем применения в качестве катодной загрузки углеродминерального сорбента (СГН), что позволяет сократить время обработки при высоком эффекте очистки и образуется труднорастворимый осадок. Полученные экспериментальные данные дают возможность в дальнейшем разработать современную схему обезвреживания стоков и утилизации осадков.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зайцев Е.Д. Интенсификация очистки сточных вод промышленных предприятий методом гальванокоагуляции (аналитический обзор) / Е.Д. Зайцев, А.П. Абраменко, – Семипалатинск 1994г.
2. Зайцев Е.Д. Совершенствование метода гальванокоагуляции вредных примесей в сточных водах промышленных предприятий/ Е.Д. Зайцев // журнал Известия ВУЗов сер. «Цветная металлургия», №2 2002г.

3. Халтурина Т.И. Исследование технологического процесса гальванокоагуляции медьсодержащих сточных вод / Т.И. Халтурина, Т.А. Курилина // Журнал Известия ВУЗов, сер. «Строительство», №8 2008г.

4. Чантурия В.А. Гальванохимические методы очистки техногенных вод. Теория и практика / В.А. Чантурия, П.М. Соложенкин – М.: ИКЦ Академ книга, 2005г., 205с.

5. Тягулова В.Г., Самойлик Е.Н., Диньмухаметова Л.С., Попов В.В. Исследование деструкции органических загрязнителей при комплексной гальванокоагуляционной очистке сточных вод / Научный журнал Фундаментальные исследования 2015 – N 11 (часть 2) С. 327 – 332.

6. Нецадин С.В. Эколого-химические аспекты гальванокоагуляционного метода очистки производственных сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов / Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук // Москва – 2004г. 141 с.

7. Батоева А.А. Очистка сточных вод с использованием эффекта микрогальванопары. Экологически чистые технологические процессы в решении проблем окружающей среды: материалы международн. конфер. / А.А. Батоева, А.А. Рязанцев, Л.В. Тумурова – Иркутск, 18-22 июня 1996г. (рус.) том 2. с. 97-98.

8. Рязанцев А.А. Анализ уровня технических решений, принимаемых при проектировании водоохраных объектов в Забайкалье. Международный конгресс «Вода: экология и технология (Eswatech-96)». Тез. докл. (рус.) / А.А. Рязанцев, А.А. Батоева – М., 1996. с. 84-85.

9. Рязанцев А.А. Механизмы гальванокоагуляционной очистки сточных вод. Докл. II Регион. конференции «Жидкость. Проблемы и решения». / А.А. Рязанцев, А.А. Батоева, В.Б. Батоев, Л.Н. Корсун – Улан-Удэ, 1996. с. 45-51.

10. Ульянов В.П. Обезвреживание и очистка сточных вод гальванического производства методом гальванокоагуляции / В.П. Ульянов, В.И. Булавин // Сталь №10 2001г.

11. Дикерсон Р. Основные законы химии / Р. Дикерсон, Г. Грей, Дж. Хейт – М.: Мир, 2 т. 1982г.

12. Кофанова Н.К. Коррозия и защита металлов / Учебное пособие для студентов технических специальностей Министерство образования и науки. Донбасский горно-металлургический институт 2003 г. – 181 с.

13. Жерин И.И., Амелина Г.Н., Страшко А.Н., Ворошилов Ф.А. Основы электрохимических методов анализа. Часть 1 / Учебное пособие. Издательство Томский политехнический институт 2013 г. 101 с.

14. Краткий справочник физико-химических величин /под ред. А.А. Равделя, А.М. Пономаревой.– Л.: Химия, 1983.

## REFERENCES

1. Zaitsev E.D. Intensification of wastewater treatment of industrial enterprises by galvanocoagulation (analytical review) / E.D. Zaitsev, A.P. Abramenko, – Semipalatinsk 1994.

2. Zaitsev E.D. Improvement of the method of galvanocoagulation of harmful impurities in wastewater of industrial enterprises/ E.D. Zaitsev // The journal Izvestiya VUZov ser. "Non-ferrous metallurgy", No.2 2002

3. Khalturina T.I. Investigation of the technological process of galvanocoagulation of copper-containing wastewater / T.I. Khalturina, T.A. Kurilina // Journal Izvestiya VUZov, ser. "Construction", No.8, 2008.

4. Chanturia V.A. Galvanochemical methods of purification of technogenic waters. Theory and practice / V.A. Chanturia, P.M. Solozhenkin – M.: ICTS Academy book, 2005, 205с.

5. Tyagulova V.G., Samoylik E.N., Dinmukhametova L.S., Popov V.V. Investigation of the

destruction of organic pollutants in complex galvanocoagulation wastewater treatment / Scientific Journal Fundamental Research 2015 – N 11 (part 2) pp. 327-332.

6. Neschadin S.V. Ecological and chemical aspects of the galvanocoagulation method of industrial wastewater treatment containing heavy metal ions / Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences // Moscow – 2004 141 p.

7. Batoeva A.A. Wastewater treatment using the microgalvanopara effect. Environmentally friendly technological processes in solving environmental problems: materials of the International Conference / A.A. Batoeva, A.A. Ryazantsev, L.V. Tumurova – Irkutsk, June 18-22, 1996. (Russian) Volume 2. pp. 97-98.

8. Ryazantsev A.A. Analysis of the level of technical solutions taken in the design of water protection facilities in Transbaikalia. International Congress "Water: Ecology and technology (Ewatech-96)". Tez. dokl. (rus.) / A.A. Ryazantsev, A.A. Batoeva – M., 1996. pp. 84-85.

9. Ryazantsev A.A. Mechanisms of galvanocoagulation wastewater treatment. Dokl. II Region. the conference "Liquid. Problems and solutions". / A.A. Ryazantsev, A.A. Batoeva, V.B. Batoev, L.N. Korsun – Ulan-Ude, 1996. pp. 45-51.

10. Ulyanov V.P. Neutralization and wastewater treatment of galvanic production by galvanocoagulation / V.P. Ulyanov, V.I. Bulavin // Steel No. 10 2001

11. Dickerson R. The basic laws of chemistry / R. Dickerson, G. Gray, J. Haight – M.: Mir, 2 vols., 1982.

12. Kofanova N.K. Corrosion and protection of metals / Textbook for students of technical specialties Ministry of Education and Science. Donbass Mining and Metallurgical Institute 2003 – 181 p.

13. Zherin I.I., Amelina G.N., Strashko A.N., Voroshilov F.A. Fundamentals of electrochemical methods of analysis. Part 1 / Tutorial. Publishing house Tomsk Polytechnic Institute 2013 101 p.

14. A short reference book of physico-chemical quantities / edited by A.A. Ravdel, A.M. Ponomareva. – L.: Chemistry, 1983.

## THERMODYNAMIC ANALYSIS OF REDOX REACTIONS OCCURRING DURING GALVANOCOAGULATION WASTEWATER TREATMENT

Kurilina<sup>1</sup> T.A., Pazenko<sup>2</sup> T.Ya., Kurilin<sup>3</sup> S.S.

1-2 Siberian Federal University, Krasnoyarsk

3 JSC Vostsibneftegaz, Krasnoyarsk

email: <sup>1</sup>ctrelok91@mail.ru; <sup>2</sup>pazenkotat@yandex.ru; <sup>3</sup>Wizya91@mail.ru

**Abstract.** One of the most important environmental problems is the purification of industrial wastewater from heavy metal ions. Various methods are used to solve this problem: chemical, physico-chemical, sorption, but the most promising method for cleaning industrial wastewater containing heavy metal ions, namely copper, nickel and zinc, is the galvanocoagulation method. However, the literature does not sufficiently cover the processes of cementation of heavy metals on cathode loading. A physico-chemical approach to this process is necessary to confirm the process of separation of heavy metal ions from wastewater in the form of sediment and the creation of new industrial wastewater treatment schemes. The composition of the loading is essential in galvanocoagulation neutralization, therefore, in order to determine the effect of the type of active loading, a carbon mineral sorbent (SGN) obtained from ores of cryptocrystalline graphite (Noginsky deposit of the Krasnoyarsk Territory) was used. The studies were carried out in a galvanocoagulation module by passing wastewater through a loading consisting of a mixture of iron shavings and granules of carbon mineral sorbent based on ores of cryptocrystalline graphite (SGN). At the same time, the air dispersed in the lower part of the device was bubbled through the loading. As a result of the operation of the Fe-SGN short-circuited galvanic cell, iron scrap was dissolved and its intensive oxidation to Fe<sup>3+</sup> by air oxygen. The article considers the mechanism of galvanocoagulation neutralization of wastewater based on thermodynamic analysis of redox reactions occurring during galvanocoagulation wastewater treatment.

**Subject of the study:** both model and real wastewater from the production of electroplating coatings containing copper, zinc and nickel ions with the following concentrations were used: =60 mg/dm<sup>3</sup>; =15 mg/dm<sup>3</sup>; =20 mg/dm<sup>3</sup>

**Materials and methods:** galvanocoagulation neutralization using a short-circuited Fe-SGN galvanic cell (carbon mineral sorbent)

**Results:** the physico-chemical patterns of the galvanocoagulation process of wastewater treatment have been studied and the thermodynamic parameters of heavy metal ion reduction reactions have been determined

**Conclusions.** It has been experimentally established that it is possible to intensify the process of galvanocoagulation of wastewater containing heavy metal ions by using a carbon mineral sorbent as a cathode loading, which reduces the processing time with a high purification effect and a difficult-to-dissolve precipitate is formed.

**Key words:** galvanocoagulation, wastewater, heavy metal ions, electroplating



УДК 504.064.36

## МЕТОДОЛОГИЯ ПРИНЯТИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТА КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА С УЧЕТОМ КРИТЕРИЯ ПЫЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Азаров<sup>1</sup> В.Н., Бурлаченко<sup>2</sup> О.В., Бурлаченко<sup>3</sup> А.О., Елфимов<sup>4</sup> К.А.

<sup>1,2,3,4</sup>Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ)

Адрес: г. Волгоград, Россия, 400066, проспект Ленина, 28,

e-mail: <sup>1</sup>azarovpubl@mail.ru, <sup>2</sup>burlachenko@yandex.ru, <sup>3</sup>a.o.burlachenko@gmail.com, <sup>4</sup>pastrana2@rambler.ru

**Аннотация.** Существующие подходы к принятию решений в строительстве имеют два существенных недостатка. Во-первых, они позволяют рассчитать эффективность рассматриваемых вариантов лишь для этапа строительства объекта, не давая представления об эффективности принятых решений на иных этапах жизненного цикла. Во-вторых, отсутствие в модели критерия экологической безопасности той или иной технологии снижает ее универсальность и адекватность принимаемых решений.

В статье предложен новый подход к принятию управленческих решений в строительстве как к управлению жизненным циклом объекта капитального строительства. Разработана методология принятия оптимальных решений по управлению жизненным циклом с учетом критерия пылевого загрязнения атмосферного воздуха. С целью построения методологии была разработана блок-схема образования пылевых выбросов в атмосферу от временных источников загрязнения на различных этапах. Экспериментальным путем получены значения пылевого загрязнения для работ, выполняемых на различных этапах жизненного цикла объекта капитального строительства. На основании полученных данных определены значения приведенного критерия оптимизации для выбора оптимального решения по управлению жизненным циклом с учетом критерия пылевого загрязнения атмосферного воздуха.

В отличие от существующих, разработанная методология позволяет, во-первых, рассчитать эффективность рассматриваемых вариантов не только для этапа строительства, но и всего жизненного цикла объекта. Во-вторых, в модель введен критерий экологической безопасности рассматриваемых управляющих решений, оцениваемый количественно по степени пылевого загрязнения атмосферного воздуха.

**Предмет исследования:** Процессы пылевого загрязнения атмосферного воздуха при выполнении работ на различных этапах жизненного цикла объекта капитального строительства.

**Материалы и методы:** Теоретические и экспериментальные методы определения концентрации пылевого загрязнения с применением программы «Эколог», базирующиеся на результатах натурных замеров пылевого загрязнения и анализа дисперсного состава аэрозоля.

**Результаты:** Разработана методология принятия оптимальных решений по управлению жизненным циклом объекта капитального строительства, включающая 5 этапов.

1. Выявление видов работ, вызывающих пылевое загрязнение атмосферного воздуха.
2. Определение концентрации мелкодисперсной пыли от каждого вида работ.
3. Определение суммарного значения показателя загрязнения атмосферного воздуха для реализации всех вариантов управляющих решений (технологий) и для всех этапов ЖЦ ОКС по предложенной модели.
4. Определение значений приведенного критерия оптимизации для реализации всех вариантов управляющих решений (технологий) и для всех этапов жизненного цикла по предложенному выражению.
5. Выбор управляющего решения (технологии) с наименьшим значением приведенного критерия оптимизации.

**Выводы:** В результате проведенных теоретических и практических исследований создана методология, позволяющая, во-первых, рассчитать эффективность рассматриваемых вариантов не только для этапа строительства, но и всего жизненного цикла объекта. Во-вторых, в модель введен критерий экологической безопасности рассматриваемых управляющих решений, оцениваемый количественно по степени пылевого загрязнения атмосферного воздуха.

**Ключевые слова:** пылевое загрязнение, жизненный цикл, объект капитального строительства.

### ВВЕДЕНИЕ

Существующие до последнего времени подходы к принятию решений в строительстве (выбор технологии возведения объектов капитального строительства (ОКС), средств комплексной механизации строительства, конструктивного исполнения) базируются на применении моделей, учитывающих технико-экономическую эффективность рассматриваемых вариантов [1, 2]. Такие методики имеют два существенных недостатка. Во-первых, они позволяют рассчитать эффективность рассматриваемых вариантов лишь для этапа строительства объекта, не давая

представления об эффективности принятых решений на иных этапах жизненного цикла. Во-вторых, отсутствие в модели критерия экологической безопасности той или иной технологии снижает ее универсальность и адекватность принимаемых решений.

Это объясняется важнейшей ролью экологической безопасности строительства как одного из основополагающих факторов устойчивого развития строительного производства. Развитие информационных технологий, появление компьютеров с большой информационной мощностью, доступ к Интернету открыли совершенно новые возможности обеспечения экологической безопасности в строительстве.

Информационные технологии позволяют оптимизировать технологические процессы в строительстве по экологическим критериям, провести мониторинг выполненных работ и эксплуатируемых машин, благодаря полученным информационным данным контролировать использование энергетических ресурсов, например при помощи беспилотных летательных аппаратов.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

При написании статьи авторы взяли за основу результаты исследований, изложенные в публикациях отечественных и зарубежных ученых. Так, в работах [1, 2] представлены подходы к выбору управленческих решений в строительстве, базирующиеся на сравнительной оценке по технико-экономическим показателям. Анализ публикаций [3-8] позволил развить положения, связанные с применением аппарата ВМ-технологий при выборе вариантов управленческих решений с учетом критерия их экологической безопасности.

Проблеме пылевого загрязнения при выполнении различных видов строительных работ посвящены исследования [9-12].

Так, в работе [8] исследуется изменение концентрации мелкодисперсной пыли по площади и высоте в зависимости от скорости и направления ветра при проведении строительных и ремонтных работ.

Авторы работы [9] вводят расчетный комплексный индекс загрязнения атмосферы (РКИЗА), позволяющий учесть, помимо загрязнения атмосферного воздуха от общестроительных работ, еще и негативное влияние транспорта, применяемого при перевозке строительных грузов.

В работе [10] исследуется гранулированный состав пыли, выделяемой на участке строительства. При этом принимается нормальный закон распределения диаметра пылевых частиц. В результате предложенная методика дает возможность оценивать влияние ремонтно-строительных работ на качество воздуха, в первую очередь по содержанию частиц РМ 10 и РМ 2.

Авторы работы [11] исследуют концентрацию пыли при производстве земляных работ в зависимости от погодных условий и предлагают методику управления пылевым загрязнением.

В работе [12] изучен накопительный эффект мелкодисперсной пыли на листьях деревьев. При этом установлено, что источниками пылевого загрязнения являются как антропогенные, так и природные факторы.

Однако, как видно из анализа публикаций, единый системный подход к разработке модели, позволяющей оценить степень пылевого загрязнения при реализации различных технологических решений на протяжении всего жизненного цикла объекта капитального строительства (ЖЦ ОКС), до сих пор отсутствует.

В работе [13] предложена модель для выбора оптимальных управляющих решений по управлению ЖЦ ОКС по критерию, позволяющему учитывать, помимо технико-экономической эффективности сравниваемых вариантов, еще и степень техногенного воздействия от их реализации на работников и на окружающую среду, а также вероятность возникновения того или иного состояния (этапа) жизненного цикла.

Полученные в работе [14] зависимости для определения вероятности наступления событий в процессе ЖЦ ОКС, а также результаты расчета степени пылевого загрязнения согласно методике [15] легли в основу модели выбора оптимального управленческого решения.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ существующих компьютерных технологий показывает, что экологическая безопасность [3-5] и охрана труда [6-8] на строительной площадке с максимальной результативностью обеспечивается за счет применения ВМ-технологий.

В данной работе авторы предлагают методологию принятия оптимальных решений по управлению жизненным циклом объекта капитального строительства (ЖЦ ОКС) с учетом критерия пылевого загрязнения атмосферного воздуха (ПЗАВ). При этом предлагается подход, оценки ПЗАВ на протяжении не только этапа строительства, но и на протяжении всего ЖЦ ОКС.

Пыль, неизбежный побочный продукт процесса строительства зданий, представляет значительную опасность для здоровья строителей, жильцов, служащих (в зависимости от функционального назначения ОКС). Особенно негативное влияние на качество атмосферного воздуха и здоровье людей оказывают взвешенные мелкие частицы пыли (РМ 10 и РМ 2,5), отнесенные всемирной организацией здравоохранения отнесены к приоритетным загрязняющим веществам.

Модель, предложенная в [13], позволяющая осуществлять выбор оптимальных решений по управлению ЖЦ ОКС по критерию, учитывающему, помимо технико-экономической эффективности сравниваемых вариантов, степень техногенного воздействия от их реализации на людей и на окружающую среду, а также вероятность возникновения того или иного состояния (этапа) жизненного цикла, представлена в следующем виде:

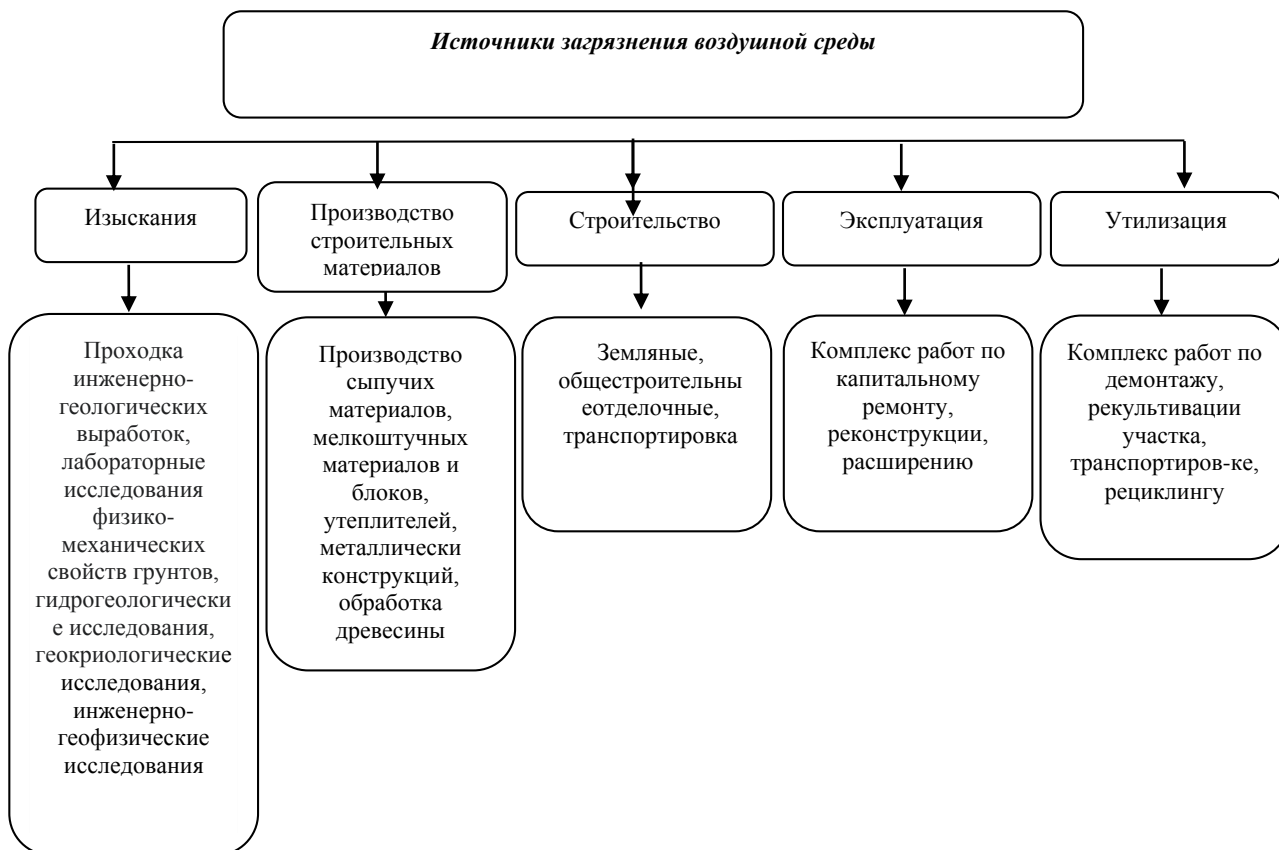
$$K_{ij} = \sum_{k=1}^m \frac{C_{np,ijk} \cdot \lambda_{ijk}}{P_{ijk}}, \quad (1)$$

где  $K_{ij}$  – приведенный критерий оптимизации, оценивающий эффективность j-го значения параметров i-го технологического решения, k – номер этапа ЖЦ ОКС (состояния), возникающего с определяемой в соответствии с методикой [14] вероятностью  $P_{ijk}$ ,  $C_{np,уд,ijk}$  – приведенные удельные

затраты, возникающие при реализации  $i$ -го технологического решения,  $m$  – общее количество этапов (состояний);  $\lambda_{ijk}$  – коэффициенты, выражающие количественную оценку интенсивности техногенного воздействия на окружающую среду на всех этапах ЖЦ ОКС при реализации  $i$ -го технологического решения.

Важной задачей сравнительного анализа рассматриваемых решений по принятому

приведенному критерию является адекватная оценка  $\lambda_{ijk}$  на протяжении всего ЖЦ. Авторами данной статьи предлагается вводить в модель значения степени пылевого загрязнения от различных видов работ на различных этапах ЖЦ ОКС. С этой целью была разработана блок-схема образования пылевых выбросов в атмосферу от временных источников загрязнения на различных этапах (рис. 1).



**Рис. 1.** Блок-схема образования пылевых выбросов в атмосферу от временных источников загрязнения на различных этапах ЖЦ ОКС

**Fig. 1.** Block diagram of the formation of dust emissions into the atmosphere from temporary sources of pollution at various LC CCO stages

Данная схема позволяет выявить источники пылевого загрязнения при выполнении работ, свойственных для каждого этапа ЖЦ, и является основой для их количественной оценки. Последняя осуществлялась на основе проведения натурных испытаний общей концентрации пыли и содержания взвешенных веществ PM10, PM2.5 в атмосферном воздухе для различных видов работ на этапах ЖЦ ОКС: при проведении изыскательских и подготовительных работ на строительной площадке, транспортировке строительных грузов, вблизи объектов нового строительства, на территориях существующей жилой застройки,

рядом с зонами проведения работ по капитальному ремонту и реконструкции зданий и т.д.

На следующем этапе были проведены теоретические расчёты с использованием программы «Эколог», базирующиеся на результатах описанных натурных замеров пылевого загрязнения и анализа дисперсного состава аэрозоля с использованием сертифицированных методик и оборудования.

Для определения степени пылевого загрязнения воспользуемся усовершенствованным расчётным комплексом индекса загрязнения атмосферного воздуха (УРКИЗАВ), по аналогии, предлагаемой в работе [15]:

$$УРКИЗАВ = \sum_i^r \left( \frac{C_{mi}(авт.) + C_{mi}(см.) + C_{mi}(пром.) + C_{mi}(нб.) + C_{mi}(вн.)}{ПДК_i} \right)^{\beta_i}, \quad (2)$$

где  $C_{mi}$ (авт.),  $C_{mi}$ (ст.),  $C_{mi}$ (пром.),  $C_{mi}$ (нб.), и  $C_{mi}$ (вн.) – максимальные приземные концентрации  $i$ -го загрязняющего вещества соответственно от автотранспортных потоков, промышленных предприятий, строительного объекта, неблагоустроенные территории, внутриквартальные загрязнения, мг/м<sup>3</sup>;  $\beta_i$  – безразмерная константа, позволяющая соотнести степень вредности  $i$ -го загрязняющего вещества с вредностью взвешенных частиц,  $\gamma$  – число загрязняющих веществ.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведенные аналитические и натурные исследования позволили сформировать методологические основы выбора оптимальных управленческих решений в строительстве по принятым в (1) критериям оптимизации. В частности, для нашего случая (случая управления ЖЦ ОКС) УРКИЗАВ= $\lambda_{ijk}$ ,  $i=1$  (поскольку рассматривается загрязнение атмосферного воздуха мелкодисперсной пылью). Тогда в соответствии с блок-схемой рис. 1, адаптируя УРКИЗАВ к методологии принятия управляющих решений на

протяжении ЖЦ ОКС, получим выражение для определения суммарного загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсной пылью на протяжении пяти этапов ЖЦ ОКС, в течение которых данный вид загрязнения наиболее интенсивен:

$$\lambda_{ijk} = \sum_{k=1}^5 \left( \frac{C_{ijk}}{ПДК_i} \right)^{\beta_{ij}} , \quad (3)$$

где  $C_{ijk}$  – максимальные приземные концентрации мелкодисперсной пыли при выполнении работ на этапах, соответственно:  $C_{ij1}$  – проведения изыскательских работ,  $C_{ij2}$  – производства строительных материалов,  $C_{ij3}$  – строительства,  $C_{ij4}$  – эксплуатации и  $C_{ij5}$  – утилизации ОКС при реализации  $i$ -го управляющего решения технологии с  $j$ -ми параметрами на  $k$ -м этапе (в интервале от 1 до 5) ЖЦ ОКС.

Подставляя значения пылевого загрязнения, полученные экспериментальным путем (таблица 1), в выражение (1), определяем значения приведенного критерия оптимизации для выбора оптимального управляющего решения по управлению ЖЦ ОКС с учетом критерия ПЗАВ.

**Таблица 1.** Экспериментальные данные о содержании мелкодисперсной пыли при некоторых видах работ, выполняемых на различных этапах жизненного цикла

**Table 1.** Experimental data on the fine dust content in some types of work performed at various LC CCO stages

№ этапа ЖЦ в соответствии с рис. 1	Наименование	Концентрация мелкодисперсной пыли (среднесуточное значение на расстоянии 100 м от рабочей зоны при ветре, не превышающем 10 м/с).	
		PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>
1	Бурение шурфов	18...20	9...11
2	Производство цементных смесей	23...25	7...9
3	Каменные работы	16...18	3...4
4	Сбивание керамической плитки	26...30	8...10
5	Демонтаж железобетонных конструкций	32...40	10...12

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, в результате проведенных исследований, разработана методология принятия оптимальных решений по управлению жизненным циклом объекта капитального строительства с учетом критерия пылевого загрязнения атмосферного воздуха. Методология включает пять этапов:

1. Выявление видов работ, вызывающих ПЗАВ.
2. Определение концентрации мелкодисперсной пыли от каждого вида работ.
3. Определение суммарного значения УРКИЗАВ для реализации всех вариантов управляющих решений (технологий) и для всех этапов ЖЦ ОКС по выражению (3).
4. Определение значений приведенного критерия  $K_{ij}$  для реализации всех вариантов управляющих решений (технологий) и для всех этапов ЖЦ ОКС по выражению (1).

5. Выбор управляющего решения (технологии) с наименьшим значением  $K_{ij}$ .

Данная методология позволяет, во-первых, рассчитать эффективность рассматриваемых вариантов не только для этапа строительства, но и всего жизненного цикла объекта. Во-вторых, в модель введен критерий экологической безопасности рассматриваемых управляющих решений, оцениваемый количественно по степени пылевого загрязнения атмосферного воздуха.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Кабанов В.Н. Технический критерий выбора экскаватора для разработки котлована // Инженерный вестник Дона. 2021. №1 (73). С. 298-306.
2. Голубова О.С. Показатели экономической эффективности строительных работ = Indicators of economic effectiveness construction works // Экономическая наука сегодня: сборник научных

статей. Белорусский национальный технический университет. – Минск: БНТУ, 2018. – Вып. 8. – С. 130-138.

3. Dos Santos J.E., Galhardo C.X. Innovations in the Civil Construction Sector Provided by Information Technologies // *Revista Geintec-Gestao Inovacao E Tecnologias*. – Vol. 9. – Issue 4. – 2019. – P. 5131-5145. DOI: 10.7198/geintec.v9i4.1382.

4. Jin R.Y., Integrating BIM with building performance analysis in project life-cycle / R.Y. Jin, B.T. Zhong, L. Ma, A. Hashemi, L.Y. Ding // *Automation In Construction*. 2019. Vol. 106. Article Number: UNSP 102861. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.102861.

5. Ma W.N., Comprehensive Performance Evaluation Method of Green Materials for Coastal Buildings Based on BIM / W.N. Ma, Y.D. Yin, G. Yang, Q. Li // *Journal of Coastal Research*. – Spec. Issue 93. – 2019. – P. 304-309. DOI: 10.2112/SI93-040.1.

6. Okakpu A. Exploring the environmental influence on BIM adoption for refurbishment project using structural equation modeling / A. Okakpu, A. Tookey, J. Ghaffarianhoseini, J. Haar // *Architectural Engineering and Design Management*. – 2019. – DOI: 10.1080/17452007.2019.1617671.

7. Shafique M., Rafiq M. An Overview of Construction Occupational Accidents in Hong Kong: A Recent Trend and Future Perspectives // *Applied Sciences-Basel*. – Vol. 4. – Issue 10. – 2019. – Article Number: 2069.

8. Shuang D. An experimental study of intrusion behaviors on construction sites: The role of age and gender / D. Shuang, L. Heng, M. Skitmore, Y. Qin // *Safety Science*. – Vol. 115. – 2019. – P. 425-434. DOI: 10.1016/j.ssci.2019.02.035.

9. Филиппов А. А., Сулейманов И.Ф., Арсланов М.А. Теоретические основы комплексного подхода к оценке экологической опасности автотранспорта на участке урбанизированной территории // *Интеллект. Инновации. Инвестиции*. 2019. № 1. С. 97-103. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-1-97.

10. Калюжина Е.А. Исследование пылевыведений в окружающую атмосферу и в атмосферу рабочей зоны при производстве ремонтно-строительных работ / Е.А. Калюжина, Н.М. Сергина, К.А. Елфимов, А.Б. Стреляева // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. – 2020. – № 4(81). – С. 371-378.

11. Luo Q. Dust dispersion patterns during construction processes: A multi-process simulation study / Q. Luo, L. Huang, Y. Liu, X. Xue, F. Zhou, J. Hua // *Sustainability* 2021, 13, 8451.

12. Глинянова И.Ю., Асанова Н.В. Исследование количества мелкодисперсной пыли и ее химического состава в жилой зоне населенных пунктов с позиции экологической безопасности предприятий строительной индустрии [Электронный ресурс] // *Строительство и техногенная безопасность*. — 2021. — Вып. 23(75). — С.89-100.

13. Бурлаченко О.В., Бурлаченко А.О., Оганесян О.В. Выбор оптимальных технологических решений в условиях плотной городской застройки на основе BIM-технологий // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура*. – 2020. – Вып. 1 (78). – С. 329-336.

14. Азаров В.Н., Бурлаченко А.О. Организация строительного производства с учетом экологической безопасности принимаемых решений // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. – 2023. – Вып. 1 (41). – С. 76-83.

15. Азаров В. Н., Елфимов К. А., Давудов Р. И. [и др.]. Об использовании случайных функций для анализа пылевого загрязнения пешеходных зон // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. – 2022. – № 2(87). – С. 171-177.

## REFERENCES

1. Kabanov V.N. Technical criterion for choosing an excavator for excavation development // *Engineering Bulletin of the Don*. 2021. No.1 (73). – Pp. 298-306.

2. Golubova O.S. Indicators of economic efficiency of construction works = Indicators of economic efficiency of construction works // *Ekonomicheskaya nauka segodnya: collection of scientific articles*. Belarusian National Technical University. – Minsk: BNTU, 2018. – Issue 8. – Pp. 130-138.

3. Dos Santos J.E., Galhardo C.X. Innovations in the Civil Construction Sector Provided by Information Technologies // *Revista Geintec-Gestao Inovacao E Tecnologias*. – Vol. 9. – Issue 4. – 2019. – P. 5131-5145. DOI: 10.7198/geintec.v9i4.1382.

4. Jin R.Y., Integrating BIM with building performance analysis in project life-cycle / R.Y. Jin, B.T. Zhong, L. Ma, A. Hashemi, L.Y. Ding // *Automation In Construction*. 2019. Vol. 106. Article Number: UNSP 102861. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.102861.

5. Ma W.N., Comprehensive Performance Evaluation Method of Green Materials for Coastal Buildings Based on BIM / W.N. Ma, Y.D. Yin, G. Yang, Q. Li // *Journal of Coastal Research*. – Spec. Issue 93. – 2019. – P. 304-309. DOI: 10.2112/SI93-040.1.

6. Okakpu A. Exploring the environmental influence on BIM adoption for refurbishment project using structural equation modeling / A. Okakpu, A. Tookey, J. Ghaffarianhoseini, J. Haar // *Architectural Engineering and Design Management*. – 2019. – DOI: 10.1080/17452007.2019.1617671.

7. Shafique M., Rafiq M. An Overview of Construction Occupational Accidents in Hong Kong: A Recent Trend and Future Perspectives // *Applied Sciences-Basel*. – Vol. 4. – Issue 10. – 2019. – Article Number: 2069.

8. Shuang D. An experimental study of intrusion behaviors on construction sites: The role of age and gender / D. Shuang, L. Heng, M. Skitmore, Y. Qin //

Safety Science. – Vol. 115. – 2019. – P. 425-434. DOI: 10.1016/j.ssci.2019.02.035.

9. Filippov A. A., Suleymanov I.F., Arslanov M.A. Theoretical foundations of an integrated approach to assessing the environmental hazard of motor transport in an urbanized area // *Intelligence. Innovation. Investment*. 2019. No. 1. Pp. 97-103. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-1-97.

10. Kalyuzhina E.A. Investigation of dust emissions into the surrounding atmosphere and into the atmosphere of the working area during repair and construction works / E.A. Kalyuzhina, N.M. Sergina, K.A. Elfimov, A.B. Strelyaeva // *Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture*. – 2020. – № 4(81). – Pp. 371-378.

11. Luo Q. Dust dispersion patterns during construction processes: A multi-process simulation study / Q. Luo, L. Huang, Y. Liu, X. Xue, F. Zhou, J. Hua // *Sustainability* 2021, 13, 8451.

12. Glinyaynova I.Yu., Asanova N.V. Investigation of the amount of fine dust and its chemical composition in the residential area of settlements from the standpoint

of environmental safety of construction industry enterprises [Electronic resource] // *Construction and technogenic safety*. — 2021. — № 23(75). — P. 89-100.

13. Burlachenko O.V., Burlachenko A.O., Oganesyanyan O.V. Choosing optimal technological solutions in conditions of dense urban development based on BIM technologies // *Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Ser.: Construction and Architecture*. – 2020. – Issue 1 (78). – Pp. 329-336.

14. Azarov V.N., Burlachenko A.O. Organization of construction production taking into account the environmental safety of the decisions taken // *Biosphere compatibility: person, region, technology*. – 2023. – Issue 1 (41). – Pp. 76-83.

15. Azarov V. N., Elfimov K. A., Davudov R. I. [et al.]. On the use of random functions for the analysis of dust pollution of pedestrian zones // *Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture*. – 2022. – № 2(87). – Pp. 171-177.

## METHODOLOGY FOR MAKING OPTIMAL DECISIONS ON MANAGING THE LIFE CYCLE OF A CAPITAL CONSTRUCTION OBJECT, TAKING INTO ACCOUNT THE CRITERION OF ATMOSPHERIC AIR DUST POLLUTION

Azarov<sup>1</sup> V.N., Burlachenko<sup>2</sup> O.V., Burlachenko<sup>3</sup> A.O., Elfimov<sup>4</sup> K.A.

<sup>1,2,3,4</sup>Volgograd State Technical University (VSTU)

Address: Volgograd, Russia, 400066, Lenin Avenue, 28,

e-mail: <sup>1</sup>azarovpubl@mail.ru, <sup>2</sup>oburlachenko@yandex.ru, <sup>3</sup>a.o.burlachenko@gmail.com, <sup>4</sup>pastrana2@rambler.ru

**Abstract.** The existing approaches to decision-making in construction have two significant drawbacks. Firstly, they allow us to calculate the effectiveness of the options under consideration only for the object construction phase, without giving an idea of the decisions effectiveness taken at other life cycle stages. Secondly, the absence of an environmental safety criterion for a particular technology in the model reduces its universality and the adequacy of the decisions taken.

The article proposes a new approach to management decision-making in construction as to the management of a capital construction object life cycle. A methodology has been developed for making optimal decisions on life cycle management, taking into account the criterion of atmospheric air dust pollution. In order to build the methodology, a block diagram of the formation of dust emissions into the atmosphere from temporary pollution sources at various stages was developed. The dust pollution values for works performed at various life cycle stages of a capital construction object were obtained experimentally. Based on the data obtained, the values of the given optimization criterion are determined for choosing the optimal solution for life cycle management, taking into account the criterion of atmospheric air dust pollution.

Unlike the existing ones, the developed methodology allows, firstly, to calculate the effectiveness of the options under consideration not only for the construction stage, but also for the entire object life cycle. Secondly, the model introduces a criterion of environmental safety of the control solutions under consideration, quantified by the degree of dust pollution of atmospheric air.

**Subject of research:** The processes of atmospheric air dust pollution when performing work at various stages of the capital construction object life cycle.

**Materials and methods:** Theoretical and experimental methods for determining the concentration of dust pollution using the Ecologist program, based on the results of field dust pollution measurements and aerosol dispersed composition analysis.

**Results:** A methodology for making optimal decisions on managing the capital construction object life cycle has been developed, including 5 stages.

1. Identification of work types that cause atmospheric air dust pollution.

2. Determination of fine dust concentration from each type of work.

3. Determination of the atmospheric air pollution indicator total value for the implementation of all control solutions (technologies) variants and for all capital construction object life cycle stages according to the proposed model.

4. Determination of given optimization criterion values for the implementation of all control solutions (technologies) variants and for all life cycle stages according to the proposed expression.

5. Selection of the control solution (technology) with the lowest given optimization criterion value.

**Conclusions:** As a result of theoretical and practical research, a methodology has been created that allows, firstly, to calculate the effectiveness of the options under consideration not only for the construction stage, but also for the entire object life cycle. Secondly, the model introduces a criterion of environmental safety of the control solutions under consideration, quantified by the atmospheric air dust pollution degree.

**Key words:** dust pollution, life cycle, capital construction object.

## СПИСОК АВТОРОВ

- Гургенян Н.В. к.т.н., Институт общей и неорганической химии им. М.Г. Манвеляна НАН РА, г. Ереван
- Азаров В.Н. д.т.н., профессор, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград
- Белоглазова Т.Н. к.т.н., доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь
- Бурлаченко А.О. аспирант, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград
- Бурлаченко О.В. д.т.н., профессор, Волгоградский государственный технический университет
- Высоцкая Н.Д. к.т.н., доцент, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
- Губеев Э.П. директор архитектурного бюро м<sup>2</sup> м<sup>3</sup>, член союза архитекторов России, г.Казань
- Гусенцова Я.А. д.т.н., профессор, Луганский государственный университет имени Владимира Даля, г. Луганск
- Елфимов К.А. аспирант, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград
- Елькина И.И. к.т.н., доцент, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь.
- Ибраимов Р.Ф. обучающийся, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
- Князьян Н.Б. профессор, Институт общей и неорганической химии им. М.Г. Манвеляна НАН РА, г. Ереван
- Красногрудов А.В. к.т.н., Луганский государственный университет имени Владимира Даля, г. Луганск
- Курилин С.С. ведущий инженер отдела тепловодоснабжения АО «Востсибнефтегаз», г. Красноярск
- Курилина Т.А. к.т.н, доцент, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск
- Макарова Е.С. к.т.н., доцент, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь.
- Манжиловская С. Е. к.т.н., доцент, Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону
- Олехнович Я. А. старший преподаватель, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург
- Пазенко Т.Я. к.т.н, доцент, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск
- Петислямова М.Т. обучающийся, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
- Пушкарев Б.А. старший преподаватель, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
- Родыгина М.М. к.т.н., Луганский государственный университет имени Владимира Даля, г. Луганск
- Романова Т.Н. к.т.н., доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь
- Сидорова В.В. кандидат архитектуры, доцент, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
- Федоркин С.И. д.т.н., профессор, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь.
- Шуршилилин Е.А. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург

## ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

### 1. Прием статей в редакцию и состав сопроводительных документов

Прием статей для публикации в журнале осуществляется в постоянном режиме. Процесс рассмотрения статьи, рецензирования и редакционно-издательской обработки занимает достаточно длительное время, в связи с чем поступившая и допущенная редколлегией к публикации статья будет, как правило, опубликована не ранее, чем через 4 месяца со дня ее поступления. Датой поступления статьи будет считаться дата ее получения от автора в окончательном варианте после всех доработок и исправлений по замечаниям рецензентов и редактора.

Просим авторов тщательно готовить свои материалы с целью сокращения сроков их рассмотрения и обработки.

*Неправильно оформленные материалы не рассматриваются, не рецензируются и не возвращаются!* Также не возвращаются авторам рукописи статей и электронные копии на локальных носителях. При этом редакция по собственной инициативе в переговоры с авторами не вступает.

1.1. Прием статей на рассмотрение и рецензирование осуществляется через онлайн систему приема статей.

Прием статей на рассмотрение и рецензирование через онлайн систему приема статей производится на сайте журнала по адресу: <https://stroyjournal-asa.ru>. Инструкция по использованию системы доступна на сайте. Автор имеет возможность следить за продвижением статьи в редакции в личном кабинете и получает соответствующие уведомления по электронной почте.

Все поступившие в редакцию статьи проходят обязательное двойное слепое рецензирование. По результатам рецензирования автору сообщается решение о публикации, замечания рецензента и редактора или решение об отклонении статьи.

**1.2. Прием к публикации окончательного варианта статьи.** Окончательный (после внесения правки по замечаниям рецензентов и редактора) вариант статьи автор также загружает через систему или направляет на электронный адрес [ger\\_bilenko@cfuv.ru](mailto:ger_bilenko@cfuv.ru) для ее редактирования, корректуры, верстки и публикации в журнале.

**1.3. Прием пакета сопроводительных документов** осуществляется через онлайн систему приема статей и по электронному адресу [ger\\_bilenko@cfuv.ru](mailto:ger_bilenko@cfuv.ru).

Автор, пройдя регистрацию в системе, загружает статью в формате .doc или .docx, форматированную по шаблону (см. п. 2), вместе с файлами отсканированных документов: экспертного заключения о возможности опубликования в открытой печати (далее – экспертного заключения) и информации об авторах статьи.

Экспертное заключение оформляется по требованиям, установленным в организации – работодателе автора. Редакция исходит из того, что авторы добровольно предоставляют сведения о себе в анкете автора в требуемом объеме и составе (в соответствии с правилами для публикаций научных статей в журналах, включенных в Перечень ВАК) для их открытого опубликования. Также к загружаемой статье может быть приложен файл отсканированной внешней (т.е. из сторонней организации) рецензии (1 экз.), оформленной и заверенной в организации по месту работы рецензента. Оригинал рецензии присылать в редакцию по почте не требуется.

Сопроводительные документы можно направить по электронной почте по адресу [ger\\_bilenko@cfuv.ru](mailto:ger_bilenko@cfuv.ru). Все вопросы и пожелания относительно пакета документов необходимо отправлять на этот адрес электронной почты редакции.

Пакет оригиналов сопроводительных документов, включающий информационную карту статьи на публикацию сведений об авторе и экспертное заключение, должен поступить в редакцию по почте не позднее 3 недель со дня уведомления автора (письмом на адрес электронной почты) о положительном решении по поводу публикации статьи.

### Бланки сопроводительных документов и требования:

**Информация об авторах статьи.** Информация об авторах статьи загружается в систему OJS или отправляется на адрес электронной почты [ger\\_bilenko@cfuv.ru](mailto:ger_bilenko@cfuv.ru) в электронном виде в виде файла с расширением .doc или .docx;

**Бланк экспертного заключения и авторской справки** (только для авторов – работников КФУ им. В.И. Вернадского (распечатывается и заполняется вручную))

**Бланк экспертного заключения и Внешняя рецензия** – загружается в систему OJS или отправляется на адрес электронной почты [ger\\_bilenko@cfuv.ru](mailto:ger_bilenko@cfuv.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.

**Язык статьи:** русский, английский.

**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 B5 (12,5 × 19,5 см). Шрифт заголовков столбцов и строк, содержания таблицы – обычный TNR 9 пунктов. Таблицы нумеруются арабскими цифрами.

**Рисунки и графики.** Рисунки и графики 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 of research):** 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.