

# СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

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

№ 30(82) – 2023

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

Редакционная коллегия:

**Абдулгазис 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»;

**Маляня 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);

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

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

## СТРОИТЕЛЬСТВО

И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 30(82) – 2023

научно-технический журнал

Печатается по решению научно-технического  
совета ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»  
(протокол № 6 от 08.09.2023)

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 13.09.2023.

Формат 70×108/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная.  
Гарнитура Times New Roman. Усл.-печ. л. 12,87.  
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**

<i>Горбачева Г.В., Лизоркина А.А.</i> ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ В ЗОНЕ ТОРГОВЫХ ЦЕНТРОВ	5
--	---

<i>Ариштович М. В., Горбачева Г.В.</i> АНАЛИЗ ПРОБЛЕМНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ТРАНСФОРМАЦИИ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ С УЧЕТОМ РОСТА ВЕЛОМОБИЛЬНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ	15
---	----

<i>Яцковская О.П., Живица В.В.</i> ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ АРХИТЕКТУРНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО НАСЛЕДИЯ Г. БАХЧИСАРАЯ	21
---	----

### **Раздел 2. Строительство**

<i>Журавлев П. А., Марукян А.М., Сборщиков С.Б.</i> ОЦЕНКА ОБЪЕМОВ И ЗАТРАТ РЕСУРСОВ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОГО ЭТАПА УСТРОЙСТВА ОСНОВАНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В ЗАЛЕСЕННОЙ МЕСТНОСТИ	37
--	----

<i>Коряковцева Т.А., Заборова Д.Д.</i> ИСПЫТАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО БЕТОННОГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОЙ ДОБАВКИ И УГОЛЬНОГО ФИЛЬТРА	47
--	----

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

<i>Бутко Д.А.</i> ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ СБРОСНЫХ ВОД СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ	59
---	----

<i>Исса Х. А., Абдали Л. М., Якимович Б. А., Кувшинов В. В., Бекиров Э. А.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ТОЧКИ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ	67
--	----

<i>Толстой М.Ю., Туник А.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКОГО АЭРАТОРА	77
---	----

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

<i>Николенко И.В., Мельникова Н.С., Каримов Э.А.</i> ВЫБОР МЕТОДА ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ВОДОХРАНИЛИЩАМИ ЕСТЕСТВЕННОГО СТОКА КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА	91
--	----

<i>Ерхов А.А.</i> SARS-CoV-2: КАНАЛИЗАЦИЯ КАК ПУТЬ ПЕРЕДАЧИ	105
--	-----

<i>Список авторов</i>	113
-----------------------	-----

<i>Руководство для авторов</i>	114
--------------------------------	-----

## **CONTENT**

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

<b><i>Gorbacheva G.V., Lizorkina A.A.</i></b> PRINCIPLES OF FORMATION OF PUBLIC SPACES IN THE AREA OF SHOPPING CENTERS	5
---	---

<b><i>Arishtovich M. V., Gorbacheva G.V.</i></b> TITLE ANALYSIS OF PROBLEMATIC SITUATIONS IN THE TRANSFORMATION OF PUBLIC SPACES TAKING INTO ACCOUNT THE GROWTH OF POPULATION MOBILITY	15
---	----

<b><i>Yatskovskaya O.P., Zhivitsa V.V.</i></b> PROBLEMS OF PRESERVING THE ARCHITECTURAL AND URBAN HERITAGE OF BAKHCHISARAY	21
---	----

### **Section 2. Construction**

<b><i>Zhuravlev P. A., Marukyan A.M., Sobshchikov S.B.</i></b> ASSESSMENT OF THE VOLUME AND COST OF RESOURCES OF THE PREPARATORY STAGE OF THE FOUNDATION OF THE ROADBED IN THE FORESTED AREA	37
---	----

<b><i>Koriakovtseva T.A., Zaborova D.D.</i></b> STUDY OF AN ECOLOGICAL CONCRETE COMPOSITE BASED ON PLANT ADDITIVE AND CHARCOAL FILTER	47
--	----

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

<b><i>Butko D.A.</i></b> THEORETICAL ASPECTS OF WASTE WATER TREATMENT SYSTEMS OF RAPID FILTERS	59
---	----

<b><i>Issa H.A., Abdali L.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V., Bekirov E.A.</i></b> STUDY OF DIFFERENT DC/DC POWER CONVERTER FOR PV SYSTEM USING MAXIMUM POWER POINT TRACKING	67
--	----

<b><i>Tolstoy M. Yu., Tunik A.A.</i></b> RESEARCH OF THE PNEUMOHYDRAULIC AERATOR OXIDIZING ABILITY	77
---	----

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

<b><i>Nikolenko I.V., Melnikova N.S., Karimov E.A.</i></b> SELECTION OF A METHOD FOR ASSESSING THE STABILITY OF WATER SUPPLY SYSTEMS WITH RESERVOIRS OF NATURAL RUNOFF OF THE CRIMEAN PENINSULA	91
--	----

<b><i>Erkhov A.A.</i></b> SARS-CoV-2: SEWERAGE AS A TRANSMISSION ROUTE	105
---	-----

<b><i>List of authors</i></b>	113
<b><i>Authors Guide</i></b>	114

## Раздел 1. Градостроительство

УДК 721.011.12

### ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ В ЗОНЕ ТОРГОВЫХ ЦЕНТРОВ

Горбачева <sup>1</sup> Г.В., Лизоркина <sup>2</sup> А.А.

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>arhi\_tektor@mail.ru, <sup>2</sup>anya.lizorkina@mail.ru

**Аннотация.** Актуальность темы исследования обусловлена тем, что в настоящее время формирование комфортной и безопасной для общества среды играет большую роль в развитии современных городов. Привлекательное и комфортное общественное пространство в зоне торгового центра повышает пропускную способность торгового центра, улучшает экономические характеристики, а также является местом сбора большого количества людей. Важно создать общественное пространство, которое повысит уровень качества города. Данная статья направлена на анализ принципов формирования комфортной городской среды в зоне торговых центров. Рассматриваются различные аспекты, оказывающие влияние на проектирование общественной среды в данной зоне. Также в статье проводится анализ научных исследований на данную тему, выявляются функции, анализируются проблемы общественных пространств в городе Севастополе, а также отмечаются негативные последствия этих проблем. Помимо этого, статья содержит обзор отечественного и зарубежного опыта проектирования общественных пространств в зоне торговых центров и торговых районах, включая такие страны, как Сингапур, Испания, Иран, Япония, Франция. Анализируются параметры современных общественных пространств. В целом, данная статья представляет собой исчерпывающий обзор темы формирования комфортной городской среды в зоне торговых центров.

**Предмет исследования.** Формирование общественных пространств возле торговых центров в крупных городах.

**Материалы и методы.** В работе применялись два метода: теоретический и практический, а именно – изучение зарубежных аналогов общественных пространств, обзор, анализ данных Интернет ресурсов по соответствующей проблематике, натурные обследования общественных пространств возле торговых центров в Севастополе, фотофиксация.

**Результаты.** Проведен анализ проблем общественных пространств в зоне торговых центров Севастополя, выявлены негативные последствия этих проблем, а также проанализированы принципы формирования общественных пространств в зоне торговых центров.

**Выводы:** применение принципов формирования общественных пространств в зоне торговых центров позволит добиться безопасной, доступной и дружелюбной атмосферы для горожан в городской среде, исключить монотонность прогулки к торговому центру, восстановить экологический баланс.

**Ключевые слова:** общественные пространства, принципы формирования пространств, торговые центры, Севастополь, окружающая территория, сообщество.

### ВВЕДЕНИЕ

Торговые центры стали неотъемлемой частью современной жизни, предоставляя множество магазинов, развлекательных заведений и ресторанов в одном удобном месте. Однако влияние этих центров выходит за рамки их коммерческой функции, поскольку они могут формировать окружающие общественные пространства и способствовать повышению качества жизни сообществ, которые они обслуживают. Поэтому принципы формирования общественных пространств вблизи торговых центров имеют решающее значение для обеспечения того, чтобы эти пространства были функциональными, безопасными и привлекательными.

Тема «Принципы формирования общественных пространств в зоне торговых центров» весьма актуальна в современном градостроительстве и застройке. Как было сказано выше, торговые центры – неотъемлемая часть современной городской среды, а общественные пространства в зоне этих

центров играют решающую роль в качестве жизни сообщества.

Отсутствие надлежащих общественных пространств вблизи торговых центров может иметь негативные последствия для окружающей среды, включая качество воздуха, проблемы безопасности и снижение эстетической привлекательности района. Поэтому важно создавать общественные пространства, отвечающие потребностям сообщества, включая доступность для всех, озеленение и благоустройство, а также гибкость и адаптируемость.

Более того, пандемия COVID-19 подчеркнула важность общественных пространств в городской среде. В связи с необходимостью социального дистанцирования и активного отдыха принципы формирования общественных пространств стали еще более важными для обеспечения безопасных и доступных мест для отдыха людей.

Учитывая вышеизложенное, **цель исследования** - осветить важность создания функциональных и привлекательных общественных пространств

вблизи торговых центров в современных городских условиях. Статья направлена на анализ принципов, которыми следует руководствоваться при формировании общественных пространств, чтобы они были доступными, безопасными, устойчивыми и полезными для общества, направлена на решение проблемы несоответствия общественных пространств и низкого качества существующих возле торговых центров во многих городских районах. В статье подчеркиваются негативные последствия этой проблемы, высказывается предположение о том, что за счет включения принципов формирования общественных пространств в зоне торговых центров можно создавать функциональные и привлекательные пространства, способствующие повышению качества жизни сообщества.

#### **Задачи исследования:**

- проанализировать научную литературу по теме исследования;
- изучение мирового опыта формирования общественных пространств в зоне торговых центров;
- описание характеристик общественных пространств в зоне торговых центров в Севастополе;
- анализ принципов формирования общественных пространств в зоне торговых центров.

### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

В данной работе проанализирована научно-исследовательская литература. Для исследования принципов формирования общественных пространств были изучены зарубежные и отечественные работы следующих авторов: Вотинова М.А. [1], Зазули В.С. [2], Мошковой М. Ю. [3], Захаровой Е.Е. [4], Гейла Я. [5], Кадырова Т.Э. [6], Панчиной Е.Г. и Баландина В.А. [7], Юдиной М.В. [8], Колясникова В.А. и Мацковой М.В. [9], Ненько А.Е. [10].

В научно-исследовательской работе «Особенности формирования общественных пространств в городской среде» автора Вотинова М.А., опубликованной в журнале «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова» [1] рассматриваются особенности формирования общественных пространств в городской среде и определяются их основные характеристики. Уточнено и дополнено понятие «общественное пространство», а также определены их основные проблемы формирования в городской среде в XXI столетии.

В публикации «Проблематика и тенденции развития общественных пространств: отечественный и зарубежный опыт» автора Зазули В.С. [2] исследуются проблемы и тенденции развития общественных пространств в России и зарубежных странах. Автор выделяет несколько проблем, связанных с формированием общественных пространств, такие как отсутствие качественного архитектурно-пространственного

проектирования, недостаток инвестиций, ограничение свободного доступа и т.д. Затем автор представляет зарубежный опыт формирования общественных пространств, особенности которого заключаются в создании смешанных использований зон, интеграции природы в городское пространство, многопрофильном использовании зон и т.д. Далее автор рассматривает опыт развития общественных пространств в России, описывая несколько успешных проектов.

В работе «Тенденции формирования досуговой среды общественных городских пространств» автора Мошковой М.Ю. [3] проанализированы основные направления формирования общественных пространств в городской среде. В публикации определено понятие «городские общественные пространства», рассмотрены классификации этих пространств в России и Европе, а также выделены основные направления их развития в структуре города.

В работе «Общественные пространства – новый вектор социокультурного развития территории» автором Захаровой Е.Е. [4] рассмотрена взаимосвязь между социокультурным развитием территории и общественным пространством как новым направлением в ее развитии. Представленный в статье анализ открытых общественных пространств показывает, что общественные пространства могут оказывать влияние на жизнь города, и для их создания, сохранения и модернизации необходимы новые методы и подходы.

В книге датского архитектора Яна Гейла «Жизнь среди зданий» [5] рассмотрены вопросы проектирования, преобразования и благоустройства общественных пространств города.

В работе «Общественные пространства: феномены, тенденции и процессы» автора Кадырова Т.Э. [6] рассматриваются актуальные проблемы формирования общественных пространств, особенности функционирования общественных пространств. Показана специфика их формирования в конкретный период времени, дано определение данного понятия, выделены компоненты и функции, а также рассмотрены современные тенденции развития общественных пространств, выявлены положительные и негативные их стороны.

В публикации «Формирование общественных пространств как составляющая часть мероприятий по улучшению качества городской среды» авторами Панчиной Е.Г. и Баландиным В.А. [7] проведен анализ факторов, влияющих на процесс формирования современных общественных пространств как механизма по улучшению качества городской среды.

Научно-исследовательская работа Юдиной М.В. «Городские общественные пространства сегодня. Принципы формирования» [8] посвящена рассмотрению основных принципов организации городских общественных пространств. Принципы

основываются на современных процессах, происходящих в обществе и городе.

В работе «Принципы проектирования общественных пространств в генеральных планах городов России» Колясников В.А. и Мацкова М.В. [9] рассматривают проблемы формирования общественных пространств в современном общественном градостроительстве. Дается характеристика подходов к проектированию территории общественного назначения в генеральных планах поселений.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе исследования проанализированы отечественные и зарубежные публикации по данной тематике посредством Интернет-ресурсов, проведены натурные обследования общественных пространств в Севастополе, выявлены проблемы и негативные последствия этих проблем.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

**Влияние социального аспекта.** Общественные пространства представляют собой свободные от транспорта территории общего пользования. Они предназначены для всех горожан без каких-либо ограничений по возрасту, национальности, расе и другим характеристикам населения. Также это пространство коммуникации и социальной активности, организованное в соответствии с главенствующей функцией. Кадыров Т.Э. в научно-исследовательской работе «Общественные пространства: феномены, тенденции и процессы» пишет: «Под общественными пространствами мы понимаем часть городской среды, целенаправленно создаваемой в интересах горожан и гостей города для свободного самовыражения, коммуникации, отдыха и проявления своих способностей во благо общества.» [6], поэтому автор выделяет основные параметры современных общественных пространств, а именно – равный и свободный доступ для горожан и приезжих как с точки зрения и физической, так и экономической доступности, многообразие собственности (государственная, муниципальная, частная), ценностная ориентированность, урбанистический сценарий, индивидуальность и комфортность условий.

Функции общественных пространств в зоне торговых центров:

- Возможность социальной коммуникации. В общественных пространствах могут сходить различные социальные группы, встречаться незнакомцы. Общественные пространства дают ощущение городского социального разнообразия и возможности новых социальных контактов [10].

- Развитие экономики. Благодаря потоку потребителей, создается благоприятная среда для торгового центра, находящегося в зоне красивого общественного пространства. Люди, изначально

преследовавшие цель просто прогуляться и посидеть, вероятнее всего зайдут в торговый центр.

- Формирование образа города. Общественные пространства могут становиться точками притяжения и узнаваемыми местами как для горожан, так и для туристов.

- Формирование городских сообществ. Формирование сообществ в городе связано с использованием общественных пространств, которые являются не только местами встреч и общения, но и местами, где происходят городские практики и творческие выражения. Таким образом, общественные пространства оказывают влияние на формирование сообществ - групп людей, объединенных общими ценностями, опытом, практиками и целями.

- Поддержание здоровья. Благоприятная озелененная среда положительно влияет на здоровье людей.

- Комфорт и безопасность.

**Деградация общественных территорий на примере г. Севастополя.** В России, особенно в регионах, остро чувствуется нехватка организации общественных пространств возле торговых центров. Рассмотрим данную проблему на примере города Севастополя.

В Севастополе, городе, расположенном на юго-западе Крымского полуострова, находится множество торговых центров, которые удовлетворяют потребности его жителей и туристов. Однако в последние годы остро стоит проблема общественных пространств вблизи этих торговых центров. Отсутствие надлежащих общественных мест и низкое качество существующих привели к ряду проблем, включая проблемы безопасности и деградацию окружающей среды.

Одной из основных проблем общественных пространств вблизи торговых центров в Севастополе является отсутствие доступа для велосипедистов. Многие из этих пространств спроектированы без учета потребностей пешеходов, поскольку узкие тротуары и недостаточное освещение затрудняют безопасное передвижение. Это особенно проблематично для пожилых людей, детей и людей с ограниченными возможностями, которым может быть сложно попасть в торговые центры.

Еще одна проблема – отсутствие зелени и благоустройства в этих общественных местах. Многие территории вблизи торговых центров в Севастополе лишены деревьев, кустарников и другой растительности, что может способствовать деградации окружающей среды и снижению эстетической привлекательности территории. Это также оказывает негативное влияние на качество воздуха, микроклимата и общее состояние здоровья населения.

Еще одной проблемой в общественных местах возле торговых центров Севастополя является проблема безопасности. Отсутствие надлежащего освещения и четких указателей может сделать эти

зоны опасными для пешеходов и велосипедистов, особенно ночью. Кроме того, высокая интенсивность движения на близлежащих улицах может представлять опасность для тех, кто пытается перейти дорогу, чтобы добраться до торговых центров.

Например, возле торгового центра «Lavanda mall» в городе Севастополе напрочь отсутствует общественное пространство для отдыха посетителей данного торгового центра (Рис.1). Основная площадь прилегающей к вышеуказанному центру занята парковкой, а места,

где возможно посидеть и «передохнуть» находятся лишь в парке, расположенном в пятиминутной ходьбе от торгового центра.

Торгово-развлекательный центр «Муссон» является одним из крупнейших торговых центров в Севастополе, расположен в центральной части города и занимает значительную территорию. Однако, существующее открытое общественное пространство не благоустроилось много лет и морально устарело (Рис.2, Рис. 3).



**Рис.1.** Торговый центр Lavanda mall , г.Севастополь.  
**Fig.1.** Lavanda mall shopping center , Sevastopol.



**Рис.2.** Торгово-развлекательный центр «Муссон», г. Севастополь.  
**Fig.2.** Shopping and entertainment center «Musson», Sevastopol.



**Рис.3.** Торгово-развлекательный центр «Муссон», г. Севастополь.  
**Fig.3.** Shopping and entertainment center «Musson», Sevastopol.

Еще одним примером несоответствующего общественного пространства в Севастополе являются зоны торговых центров «Sea mall» (Рис. 4), «Апельсин» (Рис. 5). Аналогично торговому центру

«Lavanda mall» общественное пространство этих торговых центров ограничивается парковкой, несмотря на вместительную подземную парковку и большую территорию снаружи.



Рис. 4. Торговый центр «Sea mall», г. Севастополь.

Fig. 4. Sea mall shopping center, Sevastopol.



Рис. 5. Торгово-развлекательный центр «Апельсин», г. Севастополь.

Fig. 5. Shopping and entertainment center «Orange», Sevastopol.

В наши дни не достаточно иметь возле торгового центра только парковку. Сейчас торговый центр должен быть с удобным въездом, развязкой, дорожной разметкой, озеленением, благоустройством, с ровной и качественной укладкой асфальта, местами для отдыха, малыми архитектурными формами на территории здания.

Проблема несоответствия общественных пространств вблизи торговых центров может иметь ряд негативных последствий, и город Севастополь не является исключением. Вот некоторые последствия этой проблемы на примере Севастополя:

- Вопросы безопасности: отсутствие подходящих общественных мест возле торговых центров может привести к проблемам безопасности покупателей и пешеходов. Без надлежащего освещения, надлежащих мест для сидения и других удобств люди могут чувствовать себя небезопасно и не проводить время в этих местах. Это может привести к снижению пешеходного движения, что

приведет к снижению коммерческой жизнеспособности района;

- Ухудшение состояния окружающей среды: несоответствующие общественные места могут способствовать ухудшению состояния окружающей среды в окрестностях. Например, без подходящих мусорных баков может накапливаться мусор, что приводит к неприглядной и антисанитарной обстановке. Плохое озеленение и отсутствие зелени также могут способствовать созданию непривлекательной окружающей среды, что может негативно сказаться на благосостоянии сообщества;

- Плохие условия: в неподходящих общественных местах отсутствуют такие удобства, как места для сидения, тень, общественные туалеты и фонтаны с водой, что может иметь решающее значение для покупателей и пешеходов. Это может привести к дискомфорту и неудобству для людей, что может привести к снижению желания проводить время в этом районе;

Общественные пространства в зоне торговых центров являются неотъемлемой частью городского

дизайна во многих частях мира. Эти пространства служат местом сбора людей и способствуют повышению качества жизни в прилегающих районах. Ниже приведены примеры мирового опыта проектирования общественных пространств вблизи торговых центров:

**Сингапур.** Сингапур известен своим инновационным городским дизайном, в том числе общественными местами рядом с торговыми

центрами. Одним из примеров является торговый район Орчард-роуд с широкими тротуарами, достаточным количеством сидячих мест и пышной зеленью. Эти общественные места также предназначены для людей с ограниченными возможностями и обеспечивают комфортную среду для покупателей, пешеходов или просто людей, которые вышли прогуляться и отдохнуть (Рис.6).



**Рис. 6.** Орчард-роуд, Сингапур.  
**Fig. 6.** Orchard Road, Singapore.

**Испания.** Крупный торговый центр в Испании под названием «Puerto Venecia», площадь которого – 207 тыс. кв.м. Это самый крупный торгово-развлекательный центр в Испании и третий в Европе. Две очереди молла были открыты в 2007 и 2012 годах соответственно. Создатели «Порта Венеции» максимально серьезно подошли к разработке концепции торгового объекта. Это не только большой и красивый торговый центр. Это

единственный торговый центр, по которому можно катать на лодке. (рис.7). Более 7 тыс. кв. м занимает искусственное озеро, превращающееся зимой в огромный каток. Торговый центр Puerto Venecia соответствует стандартам экологической строительной политики и был удостоен «золотого» сертификата LEED (Leadership in Energy and Environmental Design).



**Рис.7.** «Puerto Venecia», Испания.  
**Fig.7.** "Puerto Venecia", Spain.

**Токио.** Токио является примером многих общественных пространств рядом с торговыми центрами, которые служат важными местами сбора людей. Примеры включают район Гинза с широкими тротуарами, деревьями и местами для отдыха, а также район Харадзюку, известный своим ярким уличным искусством и пешеходными улицами. Эти общественные места спроектированы так, чтобы быть безопасными, удобными и

доступными, обеспечивая приятную среду для покупок и общения.

**Париж.** Париж известен своими элегантными общественными пространствами в том числе и в зоне торговых центров. Город вложил средства в развитие пешеходных улиц, площадей и парков, которые предлагают ряд удобств, таких как скамейки, фонтаны и зелень. Эти общественные

места побуждают людей проводить время на свежем воздухе и наслаждаться местной средой.

**Иран.** Также хочется привести в пример торговый центр в Иране, который носит название «Persian Gulf Complex». (рис.8). Как и вышеуказанные торговые центры – это не просто большое место для покупок и развлечений, но и место, в котором есть открытое общественное пространство для отдыха. Persian Gulf Complex –

многофункциональный туристический центр, в котором путешественники могут и с комфортом отдохнуть, и погулять по магазинам, и даже организовать масштабные мероприятия. Среди особенностей торгового комплекса стоит отметить окружающий его ландшафтный парк Iran Land, в котором всегда можно полюбоваться экзотическими растениями и цветами.



**Рис. 8.** Persian Gulf Complex, Иран.

**Fig. 8.** Persian Gulf Complex, Iran.

**Хабаровск.** Торгово-развлекательный комплекс «Броско молл» в Хабаровске (Рис.9) обладает необычной запоминающейся архитектурой — рубленые формы и фактура материалов облицовки напоминают скалу на берегу реки. Особенно ярко он

выглядит вечером, с неоновой подсветкой. Этот торгово-развлекательный комплекс удобно расположен на берегу реки Амур вдоль оживленной городской магистрали и также, помимо парковки, включает зеленые насаждения и места для отдыха.



**Рис.9.** Торгово-развлекательный комплекс Броско молл, Хабаровск

**Fig.9.** Shopping and entertainment complex Brosko mall, Khabarovsk

Таким образом, мировой опыт показывает, что общественные пространства в зоне торговых центров можно спроектировать так, чтобы они были безопасными, доступными и привлекательными, обеспечивая ряд удобств для сообщества. Эти общественные места могут служить важными местами сбора людей и способствовать повышению качества жизни в близлежащих районах.

Проанализировав общественные пространства зарубежных стран и другие работы, можно выделить основные принципы, которыми следует руководствоваться при формировании общественных пространств вблизи торговых центров:

- **Доступность:** Общественные места возле торговых центров должны быть доступны для всех пользователей, включая людей с ограниченными возможностями, пожилых людей и семьи с детьми. Этого можно достичь путем обеспечения соответствующей инфраструктуры, такой как пандусы, лифты и тротуары, достаточно широкие для размещения детских колясок и инвалидных колясок;

- **Безопасность.** Безопасность имеет первостепенное значение в общественных местах, и торговые центры должны обеспечить безопасность окружающих территорий для пешеходов, велосипедистов и автомобилистов. Это может быть достигнуто путем обеспечения надлежащего

освещения, четких указателей и хорошо обозначенных пешеходных переходов;

- **Экологичность:** общественные места должны проектироваться с учетом экологической устойчивости, принимая во внимание воздействие на окружающую среду материалов и ресурсов, используемых при их строительстве. Это может включать использование переработанных материалов, сбор дождевой воды и энергоэффективное освещение;

- **Ландшафтный дизайн и озеленение:** включение зеленых насаждений и ландшафтного дизайна может улучшить эстетику и функциональность общественных мест возле торговых центров. Деревья, кустарники и другая растительность могут создавать тень, улучшать качество воздуха и создавать ощущение естественной красоты, улучшающее впечатление пользователя;

- **Участие сообщества:** В формировании общественных пространств должны участвовать люди, поскольку они являются основным пользователем этих пространств. Взаимодействие с местными жителями и предприятиями может помочь определить их потребности и предпочтения и убедиться, что общественные места спроектированы так, чтобы соответствовать их ожиданиям.

- **Гибкость и адаптируемость.** Общественные пространства должны быть гибкими и адаптируемыми, чтобы в них можно было проводить различные мероприятия и мероприятия в течение года. Это может включать в себя предоставление открытых пространств, мест для отдыха и зон питания на открытом воздухе, которые можно использовать для общественных мероприятий, фестивалей и рынков.

В заключение отметим, что принципы формирования общественных пространств вблизи торговых центров необходимы для обеспечения того, чтобы эти пространства были функциональными, безопасными и привлекательными. Включая доступность, безопасность, устойчивость, благоустройство и озеленение, участие сообщества, а также гибкость и адаптируемость, торговые центры могут создавать общественные пространства, которые способствуют повышению качества жизни сообществ, которые они обслуживают.

## ВЫВОДЫ

Данный исследовательский материал позволяет осветить важность создания функциональных и привлекательных общественных пространств возле торговых центров в современных городских условиях, установить принципы формирования общественных пространств, разработанные на основе анализа мирового опыта проектирования общественных пространств возле торговых центров. Проектное применение вышеперечисленных принципов позволит добиться дружелюбной

атмосферы для горожан в городской среде, активизировать стрит-ритейл, исключить монотонность прогулки к торговому центру, восстановить экологический баланс посредством формирования «зеленых» зон, внедрить в общественную среду новые функции и новые типы открытых пространств, а также поможет в создании рациональной функциональной схемы с учетом всех обозначенных аспектов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вотинов М.А. Особенности формирования общественных пространств в городской среде // Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова. – 2014. – № 4. – С. 36-40. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-formirovaniya-obschestvennyh-prostranstv-v-gorodskoy-srede>
2. Зауля В.С. — Проблематика и тенденции развития общественных пространств: отечественный и зарубежный опыт // Урбанистика. – 2021. – № 1. – С. 56 - 72. DOI: 10.7256/2310-8673.2021.1.34516 URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=34516](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=34516)
3. Мошкова М.Ю. Тенденции формирования досуговой среды общественных городских пространств // Аллея Науки: науч.-практич. электрон. журнал. – 2019. – № 1(28). – Том 5. С. 228-232. – URL: [https://alley-science.ru/domains\\_data/files/January\\_archive/Yanvar%205%20tom.pdf](https://alley-science.ru/domains_data/files/January_archive/Yanvar%205%20tom.pdf)
4. Захарова Е.Е. — Общественные пространства – новый вектор социокультурного развития территории // Урбанистика. – 2018. – № 1. – С. 59 - 65. DOI: 10.7256/2310-8673.2018.1.25727 URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=25727](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=25727)
5. Гейл Я. Жизнь среди зданий: использование общественных пространств / Ян Гейл; изд. на рус. яз. — Концерн «КРОСТ», пер. с англ. — М.: Альпина Паблишер, 2012.- 200 с.
6. Кадыров Т.Э. Общественные пространства: феномены, тенденции и процессы // Известия КазГАСУ. – 2014. – № 4 (30). – С. 115-119. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obschestvennye-prostranstva-fenomeny-tendentsii-i-protsessy>
7. Панчина Е.Г., Баландин В.А. Формирование общественных пространств как составляющая часть мероприятий по улучшению качеств городской среды // Стратегия устойчивого развития регионов России. – 2016. – № 31. – С. 146-150. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-obschestvennyh-prostranstv-kak-sostavlyayushchaya-chast-meropriyatij-po-uluchsheniyu-kachestv-gorodskoy-srede>
8. Юдина М.В. Городские общественные пространства сегодня. Принципы формирования // Наука, образование и экспериментальное проектирование: сб. мат-лов междунар. науч.-

практич. конф. – М.: Московский архитектурный институт, 2015. – С. 177-180.

9. Колясников В.А., Мацкова М.В. Принципы проектирования общественных пространств в генеральных планах городов России // Академический вестник УРАЛНИИПРОЕКТ РААСН. – 2014. – № 3. – С. 18-22. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/printsipy-proektirovaniya-obschestvennyh-prostranstv-v-generalnyh-planah-gorodov-rossii/viewer>

10. Ненько А.Е. Социологические методы изучения общественных пространств // Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО, 2020. - 57 с.

## REFERENCES

1. Votinov M.A. Features of the formation of public spaces in the urban environment // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. - 2014. – No. 4. – pp. 36-40. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-formirovaniya-obschestvennyh-prostranstv-v-gorodskoy-srede>

2. Zazulya V.S. — Problematics and trends in the development of public spaces: domestic and foreign experience // Urbanistics. – 2021. – No. 1. – pp. 56-72. DOI: 10.7256/2310-8673.2021.1.34516 URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=34516](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=34516)

3. Moshkova M.Yu. Trends in the formation of the leisure environment of public urban spaces // Alley of Science: scientific and practical electron. magazine. – 2019. – № 1(28). – Volume 5. pp. 228-232. – URL: [https://alley.science.ru/domains\\_data/files/January\\_archive/Yanvar%205%20tom.pdf](https://alley.science.ru/domains_data/files/January_archive/Yanvar%205%20tom.pdf)

4. Zakharova E.E. — Public spaces – a new vector of socio-cultural development of the territory // Urbanistics. – 2018. – No. 1. – pp. 59-65. DOI:

10.7256/2310-8673.2018.1.25727 URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=25727](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=25727)

5. Gale Ya. Life among buildings: the use of public spaces / Jan Gale; ed. on Rus. yaz. — Concern "KROST", trans. from English — М.: Alpina Publisher, 2012. 200 p.

6. Kadyrov T.E. Public spaces: phenomena, trends and processes // Izvestiya KazGASU. – 2014. – № 4 (30). – Pp. 115-119. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obschestvennye-prostranstva-fenomeny-tendentsii-i-protsessy>

7. Panchina E.G., Balandin V.A. Formation of public spaces as an integral part of measures to improve the qualities of the urban environment // Strategy of sustainable development of the regions of Russia. – 2016. – No. 31. – pp. 146-150. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-obschestvennyh-prostranstv-kak-sostavlyayuschaya-chast-meropriyatij-po-uluchsheniyu-kachestv-gorodskoy-sredy>

8. Yudina M.V. Urban public spaces today. Principles of formation // Science, education and experimental design: collection of materials of the International Scientific and Practical conference - Moscow: Moscow Architectural Institute (State Academy), 2015. - pp. 177-180.

9. Kolyasnikov V.A., Matskova M.V. Principles of designing public spaces in the master plans of Russian cities // Academic Bulletin of URALNIIPROEKT RAASN. – 2014. – No. 3. – pp. 18-22. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/printsipy-proektirovaniya-obschestvennyh-prostranstv-v-generalnyh-planah-gorodov-rossii/viewer>

10. Nenko A.E. Sociological methods of the study of public spaces // Editorial and Publishing Department of ITMO University, 2020. 57 p.

## PRINCIPLES OF FORMATION OF PUBLIC SPACES IN THE AREA OF SHOPPING CENTERS

<sup>1</sup>Gorbacheva G.V., <sup>2</sup>Lizorkina A.A.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Academy of construction and architecture,  
181, Kievskaya str., Simferopol, 295050, Russian Federation  
E-mail: <sup>1</sup>arhi\_tektor@mail.ru, <sup>2</sup>anya.lizorkina@mail.ru

**Abstract.** The relevance of the research topic is due to the fact that currently the formation of a comfortable and safe environment for society plays an important role in the development of modern cities. An attractive and comfortable public space in the shopping center area increases the capacity of the shopping center, improves economic characteristics, and is also a gathering place for a large number of people. It is important to create a public space that will increase the quality level of the city. This article is aimed at analyzing the principles of forming a comfortable urban environment in the shopping center area. Various aspects influencing the design of the public environment in this zone are considered. The article also analyzes scientific research on this topic, identifies functions, analyzes the problems of public spaces in the city of Sevastopol, and also notes the negative consequences of these problems. In addition, the article contains an overview of domestic and foreign experience in the design of public spaces in the area of shopping centers and shopping areas, including countries such as Singapore, Spain, Iran, Japan, France. The parameters of modern public spaces are analyzed. In general, this article is an exhaustive overview of the topic of creating a comfortable urban environment in the shopping center area.

**Subject of research.** The formation of public spaces near shopping malls in large cities.

**Materials and methods:** in the process of studying materials on the topic of publication on this topic, two methods were used: theoretical and practical, namely, the study of foreign analogues of public spaces, a review, analysis of data from Internet resources on relevant issues, field surveys of public spaces near shopping malls in Sevastopol, photo fixation.

**Results:** the analysis of the problems of public spaces in the area of shopping centers of Sevastopol is carried out, the negative consequences of these problems are revealed, and the principles of the formation of public spaces in the area of shopping centers are analyzed.

**Conclusions:** the application of the principles of the formation of public spaces in the area of shopping centers will allow to achieve a safe, accessible and friendly atmosphere for citizens in the urban environment, eliminate the monotony of walking to the shopping center, restore the ecological balance.

**Key words:** public spaces, principles of space formation, shopping malls, Sevastopol, surrounding area, community.

УДК 711.7

## АНАЛИЗ ПРОБЛЕМНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ТРАНСФОРМАЦИИ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ С УЧЕТОМ РОСТА ВЕЛОМОБИЛЬНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

Ариштович М. В., Горбачева Г.В.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского»,  
Институт «Академия строительства и архитектуры»,  
295493, Республика Крым, г. Симферополь, улица Киевская, 181.  
e-mail: mashavari1420@mail.ru; arhi\_tektor@mail.ru

**Аннотация.** Целью исследования является выявление основных проблем городских общественных пространств, трансформация их с учетом роста велосоциальности населения и создание необходимой велотранспортной инфраструктуры.

**Предмет исследования:** трансформация и активизация общественных пространств для велосипедистов, удобство и функциональность вело-маршрутов.

**Материалы и методы:** проводилось изучение научных материалов и статей по теме трансформации общественных пространств. Для выявления закономерности развития разных территории общественных пространств применяется метод сравнительный анализа. 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: дедукции, теоретического анализа и синтеза, метод аналогии.

**Результаты:** Проанализировав международный опыт, было выявлено, что концепция преобразования общественных пространств городов, направленная на обеспечение возможности комфортного пребывания и передвижения пешеходов и велосипедистов, развитие вело-инфраструктуры и соединение ее с другими зелеными зонами и общественными пространствами города, будет возможна при грамотной организации плана действий, основанных на мировом и отечественном опыте, новейших образовательных разработках, с учетом требований и желаний жителей города. Развитие вело-инфраструктуры – это важный шаг к устойчивому развитию города и повышению качества жизни его жителей. Основные направления развития – это процесс создания удобных и безопасных условий для передвижения на велосипедах в городе или в другой населенной точке. К такой инфраструктуре относятся велодорожки, парковки для велосипедов, специальные светофоры и знаки, а также другие инженерные решения, учитывающие потребности велосипедистов. Выявлены основные преимущества – это, во-первых, уменьшение транспортных пробок и загрязнения окружающей среды. Велосипедисты не используют бензин и не выделяют вредные вещества, что вносит значительный вклад в охрану окружающей среды. Во-вторых, развитие велоинфраструктуры способствует здоровому образу жизни. Велосипедисты получают физическую нагрузку, которая полезна для здоровья. В-третьих, велосипедисты могут достигать своих мест назначения быстрее, так как велосипеды могут обходить пробки и двигаться по велодорожкам.

**Выводы:** При анализе опыта проектирования, трансформации и реконструкции общественных пространств, включающих объекты вело-транспортной инфраструктуры, было выявлено, что большие открытые пространства с различными пунктами с социальными услугами, точками стоянок и благоустроенными территориями, благоприятно влияют на повышение процента велосоциального населения; Инфраструктурное наполнение общественного пространства, где в уличную среду интегрированы объекты транспортно-туристической инфраструктуры, коммерческие объекты, элементы свободного пользования также хорошо влияют на интерес городских жителей к общественным пространствам; Важно также создание городских транзитов для велосоциального населения, пространств взаимодействующих с прилегающей застройкой, которые являются логичным продолжением среды и обеспечение безопасности этих пространств и транзитов для велосоциального населения.

**Ключевые слова:** велосоциальность населения; комфортная городская среда; трансформация городской среды; окружающая среда.

### ВВЕДЕНИЕ

Если мы преобразуем городскую среду для удовлетворения потребностей велосоциального населения, качество и уровень инфраструктуры повысятся, а следовательно, эта среда станет более комфортной. Это должно решить ряд проблем современных городов: высокую автомобилизацию, загруженность городского пассажирского транспорта в час пик, высокий уровень выбросов углекислого газа в атмосферу, загрязнение почвы тяжелыми металлами, негативное воздействие шума и вибрации, а также другие экологические и социальные проблемы. В то же время

преобразованные общественные пространства могут не только обеспечить дополнительную мобильность, обеспечить рациональные связи и доступ к местам притяжения в городе, но и компенсировать людям нехватку мест для комфортной городской жизни: отдыха, занятий спортом, рекреации, мест самовыражения.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Анализируя международный опыт и исследования в данном направлении, реализованные проекты и существующие объекты велотранспортной инфраструктуры, можно выделить основные проблемы: разорванность вело-сети,

нехватка непрерывных вело-путей для комфорта передвижения населения; частичное или полное отсутствие комфортной вело-среды: плохие велодорожки или их полное отсутствие, неудовлетворительное качество вело-покрытий, разрозненное функционирование или отсутствие объектов вело-обслуживания (пункты проката, пункты подзарядки и т.д.), зон отдыха; отсутствие разделения потоков, пересечение в разных уровнях с другими видами транспорта, безопасность для всех участников движения;

Высокий уровень автомобилизации городов ставит перед нами ряд проблем: пробки, небольшая пропускная способность улично-дорожной сети, проблемы загруженности пассажирского городского транспорта, негативное влияние на экологию города. В городах отсутствует инфраструктура для велосипедистов, отвечающая современному социальному запросу общества: непрерывность вело-маршрута; ориентация маршрутов к основным точкам притяжения города (зеленые зоны, учебные учреждения, объекты культуры и спорта и т.д.); безопасность передвижения; разделение участников движения: пешеход, средства индивидуальной мобильности, велосипедист; обеспечение всех участков сети объектами обслуживания вело-транспорта; комфортность и эстетичность вело зон и общественных пространств их включающих; комфортно, удобное и безопасное пересечение и пересадка на другие виды общественного транспорта [4]. При улучшении среды для велосипедного населения, повысится безопасность на дорогах, улучшится городская экономика (путем создания объектов вело инфраструктуры), снизится уровень шума и вибрации, понизятся показатели загрязнения воздуха, снимется часть нагрузки на общественный пассажирский транспорт. Появится возможность выделить зоны с ограничением проезда личного автотранспорта в центральных частях города, заменить часть существующих парковок на зеленые зоны, скверы, пешеходные зоны. Это повлечет увеличение зеленого каркаса города и сети его выключных пространств, что в свою очередь выразится в «развороте города лицом к людям» и снижению авто-зависимости городского жителя. В экологическом аспекте сократятся выбросы углекислого газа, снизятся влияние шума и вибрации, что положительно скажется на здоровье и качество жизни горожан [2].

Труд: «Формирование общественного пространства» Авторы: Я.А.Басько  
Мировое сообщество все чаще обращается к теме качественных общественных пространств, без которых уже невозможно представить современные и развитые города. Пространства с внедрением разнообразных функций в среду и удовлетворения потребностей горожан. Основная задача исследования, сформировать новое общественное пространство в историческом месте по «новым правилам», принципам и мировым тенденциям [7].

Для города самой главной ценностью является человек, поэтому тема формирования общественных пространств в городах – это важный этап создания современной городской среды, напрямую влияющей на качество городской среды. Принципы:

1. Насыщение рассматриваемой территории новыми объемно-пространственными элементами и функциями

2. Создание ярусной пространственной связи между набережной и центральной городской площадью

3. Размещение главного пешеходного транзита вдоль всей пешеходной платформы. Новое пространство взаимодействует с прилегающей застройкой и является ее логичным продолжением

4. Инфраструктурное наполнение общественного пространства, где в уличную среду интегрированы объекты транспортно-туристической инфраструктуры, коммерческие объекты, элементы свободного пользования [8].

### УЭСТ-ПАЛМ-БИЧ (США)

Программа: Во многих городах Северной Америки центральные переулки выглядят непривлекательно и очень часто используются исключительно как зоны обслуживания для доставки и логистики. Однако, благодаря своим архитектурным пропорциям и особенностям, их можно рассматривать как общественные пространства с высоким потенциалом активации для пешеходов и велосипедистов. В рамках проекта *Open Shore* была разработана стратегия активизации аллей в центре Уэст-Палм-Бич (Рис.1)

Цель стратегии – улучшить проходимость, безопасность и комфорт, превратившись в тематические маршруты, соединяющие разные части города с помощью пешеходных связей и вело-маршрутов (Рис.2)

После выполнения предварительных действий, таких как прокладка линий электропередач, проектирование функциональных пешеходных и вело-дорожек, улучшение дренажной системы и внедрение новой системы сбора мусора, среди прочего, аллея будет готова изменить свой облик, и граждане изменят свое восприятие этого пространства [5].

Проанализировав эту разработку, выясняется, что при данном уровне адаптивности будет обеспечиваться высокая степень индивидуализации и широкий спектр возможностей обслуживания велосети. Некоторые из этих возможностей включают в себя: пункты зарядки мобильных устройств, магазины, игровую площадку, стену для скалолазания, конференции на открытом воздухе, места для сидения, места отдыха, проекционные зоны, биоклиматические устройства, точки доступа, общую библиотеку, велодороги, парковку для велосипедов, зеленые зоны и другие.

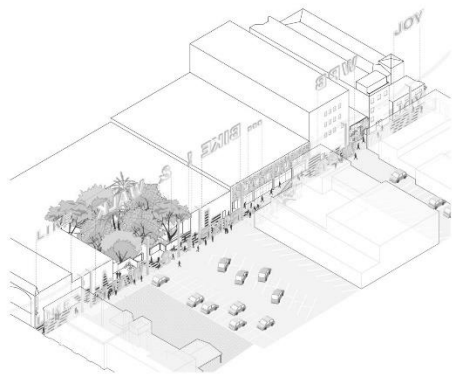


Рис.1 (Стратегия активизации аллеи в центре Уэст-Палм-Бич)

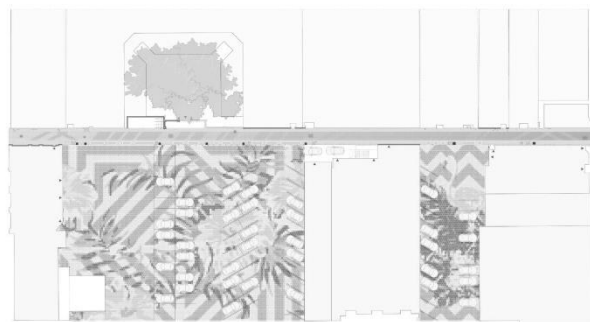


Рис.2 (Стратегия активизации аллеи в центре Уэст-Палм-Бич. Вид сверху и сбоку)

### ХАЙЛДЕБЕРГ (ГЕРМАНИЯ)

Программа: Преобразование бывшей военной базы (казармы Кэмпбелла) в открытый городской парк. Пять основных общественных пространств в этом районе приобретают свою индивидуальность, начиная от зеленого парка и заканчивая городской площадью

В этой разработке предложено перенаправление движения по району, разработка лучшего способа

облегчения движения велосипедистов на Ремерштрассе (главной улице, пересекающей район), увеличение растительности, предоставление решений для сбора дождевой воды или интеграция исторических следов казарм в новый дизайн (Рис.3,4) Но эта разработка еще в стадии концепции, ведь для воплощения потребуется много ресурсов. А так же более глубокий анализ транспортной системы [5].



Рис.3. (Преобразование базы в открытый городской парк. Схема)

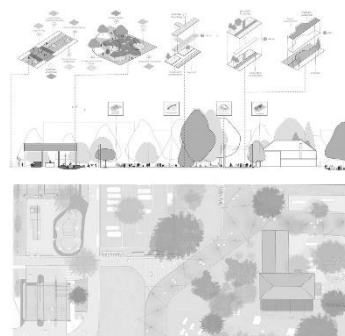


Рис.4 (Вид сверху и вид сбоку)

### МОСКВА (РОССИЯ)

К тому, что на велосипеде можно ездить по городу не только для развлечения, постепенно приходит Москва, где уже были приняты меры по развитию велосипедной инфраструктуры. Сейчас в Москве построено 230 км велосипедных полос и дорожек: 90 км на улично-дорожной сети и 140 км — в парках. Кроме того, велоинфраструктура столицы включает 1867 парковок на 11 656 мест и 430 станций велопроката с 4300 велосипедами. Минус в том, что за велополосы в Москве выдают выделенные полосы для общественного транспорта, хоть и с 2015г это разрешено в ПДД, это может быть опасно для велосипедистов из-за большей скорости движения такси и общественного транспорта. В ходе исследования можно сделать вывод, что

сегодняшнее развитие велоинфраструктуры в Москве поставили на паузу: сеть велодорожек перестали расширять, а существующую — не улучшают, хотя её качество оставляет желать лучшего. Из-за ошибок при планировании сеть велодорожек получилась несвязной и кучной. Есть и «культурные» проблемы — автомобилисты безнаказанно паркуют свои автомобили на велополосах. Городская среда с большим количеством подземных переходов, тоннелей, изрезанная железнодорожными путями, враждебна для велосипедистов.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### Задачи:

1. Исследование структуры и характерных особенностей формирования общественных пространств, включающих объекты велотранспортной инфраструктуры.
2. Анализ опыта проектирования, трансформации и реконструкции общественных пространств, включающих объекты велотранспортной инфраструктуры.

В ходе исследования проводилось изучение научных материалов и статей по теме трансформации общественных пространств. Для выявления закономерности развития разных территории общественных пространств применяется метод сравнительный анализа. 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: дедукции, теоретического анализа и синтеза, метод аналогии.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Проанализировав международный опыт, было выявлено, что концепция преобразования общественных пространств городов, направленная на обеспечение возможности комфортного пребывания и передвижения пешеходов и велосипедистов, развитие вело-инфраструктуры и соединение ее с другими зелеными зонами и общественными пространствами города, будет возможна при грамотной организации плана действий, основанных на мировом и отечественном опыте, новейших образовательных разработках, с учетом требований и желаний жителей города. Развитие вело-инфраструктуры – это важный шаг к устойчивому развитию города и повышению качества жизни его жителей. Основные направления развития – это процесс создания удобных и безопасных условий для передвижения на велосипедах в городе или в другой населенной точке. К такой инфраструктуре относятся велодорожки, парковки для велосипедов, специальные светофоры и знаки, а также другие инженерные решения, учитывающие потребности велосипедистов. Выявлены основные преимущества – это во-первых уменьшение транспортных пробок и загрязнения окружающей среды. Велосипедисты не используют бензин и не выделяют вредные вещества, что вносит значительный вклад в охрану окружающей среды. Во-вторых, развитие велоинфраструктуры способствует здоровому образу жизни. Велосипедисты получают физическую нагрузку, которая полезна для здоровья. В-третьих, велосипедисты могут достигать своих мест

назначения быстрее, так как велосипеды могут обходить пробки и двигаться по велодорожкам.

## ВЫВОДЫ

Анализируется существующая ситуация, выявляются проблемы состояния городской среды, исследуются потребности населения. Необходимо рассматривать общественные пространства как элемент городской системы, принимая во внимание связи с транспортным каркасом, пешеходным каркасом, зеленым каркасом города, системой учреждений обслуживания, чтобы достичь комфортного, безопасного, здорового образа жизни в городе.

При анализе опыта проектирования, трансформации и реконструкции общественных пространств, включающих объекты вело-транспортной инфраструктуры, было выявлено:

1. Большие открытые пространства с различными пунктами с социальными услугами, точками стоянок и благоустроенными территориями, благоприятно влияют на повышение процента велосипедного населения;

2. Инфраструктурное наполнение общественного пространства, где в уличную среду интегрированы объекты транспортно-туристической инфраструктуры, коммерческие объекты, элементы свободного пользования также хорошо влияют на интерес городских жителей к общественным пространствам;

3. Создание городских транзитов для велосипедного населения, пространств взаимодействующих с прилегающей застройкой, которые являются логичным продолжением среды;

4. Обеспечение безопасности этих пространств и транзитов для велосипедного населения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С.Д. Казнов Благоустройство жилых зон городских территорий / С.С. Казнов 2009 г.
2. Спек Джеф Город для пешехода. — М.: Искуство XXI век, 2015. — 352 с.
3. Е.И. Пупырев Комплексная модернизация объектов жизнеобеспечения современного мегаполиса / под редакцией д.т.н. Мирного А.Н. — М.: Академия коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова, 2013. — 343 с.
4. Г.З. Каганов Формирование городской среды (вопросы теории) [Текст] / Г.З. Каганов- М.: ЦНТИ по гражданскому строительству и архитектуре, 1987.
5. Преобразование бывшей военной базы в открытое городское пространство – Режим доступа: из локальной сети – Текст: электронный. <https://ecosistemaurbano.com/spielraum-der-andere-park/>
6. Реактивация общественного пространства в центре города – Режим доступа: из локальной сети – Текст: электронный. <https://ecosistemaurbano.com/passageway/>

7. Я.А.Басько Формирование общественного пространства – Научная статья, Владивосток 2019 г.

#### REFERENCES

1.S.D. Kaznov Improvement of residential areas of urban territories / S.S. Kaznov 2009.

2.Spec Jeff City for pedestrians. — М.: Art of the XXI century, 2015. — 352 p. 711.4

3.E.I. Pupyrev Complex modernization of life support facilities of a modern metropolis / edited by Doctor of Technical Sciences Mirny A.N. — М.: K.D. Pamfilov Academy of Public Utilities, 2013. — 343 p. 711.02

4.G.Z. Kaganov Formation of the urban environment (questions of theory) [Text] / G.Z. Kaganov- М.: Central Research Institute for Civil Engineering and Architecture, 1987.

5.Transformation of the former military base into an open urban space – Access mode: from a local network – Text: electronic. <https://ecosistemaurbano.com/spielraum-der-andere-park/>

6.Reactivation of public space in the city center – Access mode: from the local network – Text: electronic. <https://ecosistemaurbano.com/passageway/>

7.Ya.A. Basko Formation of public space – Scientific article, Vladivostok 2019.

## TITLE ANALYSIS OF PROBLEMATIC SITUATIONS IN THE TRANSFORMATION OF PUBLIC SPACES TAKING INTO ACCOUNT THE GROWTH OF POPULATION MOBILITY

Arishtovich M. V., Gorbacheva G.V.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Academy of construction and architecture,  
181, Kievskaya str., Simferopol, 295050, Russian Federation  
mashavari1420@mail.ru

**Abstract.** The purpose of the study is to identify the main problems of urban public spaces, their transformation taking into account the growth of the population's bicycle mobility and the creation of the necessary bicycle transport infrastructure.

**Scientific novelty.** The analysis of problematic situations in the transformation of public spaces, taking into account the growth of bicycle mobility of the population, is very important for making decisions to improve urban infrastructure and create a comfortable urban environment. The analysis should take into account the following criteria of the urban environment: the level of safety for all traffic participants, the level of accessibility, the level of attractiveness and points of attraction for all participants and users of these spaces. This will allow us to understand how the use and development of public spaces is changing and how this affects urban infrastructure. The qualitative characteristics of the architectural and spatial environment largely dictate the lifestyle of the population, creating the benefits of infrastructure, increasing the comfort and quality of life of the population, and at the level of consciousness, determine the attitudes and perception of spaces. As a result of the work, problematic situations are analyzed and solutions are proposed, a concept of transformation of public spaces, a variant of landscaping of these territories is proposed.

**Subject of research:** The transformation and activation of public spaces for cyclists, the convenience and functionality of bicycle routes.

**Materials and methods:** In the course of the study, scientific materials and articles on the topic of transformation of public spaces were studied. To identify the patterns of development of different territories of public spaces, the method of comparative analysis is used. The paper analyzes theoretical and practical materials concerning the object of research, and draws conclusions. In the process of selecting materials on the topic of publication and analyzing the results obtained, methods were applied: deduction, theoretical analysis and synthesis, the method of analogy.

**Results:** After analyzing international experience, it was revealed that the concept of transforming public spaces of cities, aimed at ensuring the possibility of comfortable stay and movement of pedestrians and cyclists, the development of bicycle infrastructure and its connection with other green areas and public spaces of the city, will be possible with the competent organization of an action plan based on world and domestic experience, the latest educational developments, taking into account the requirements and desires of the residents of the city. The development of bicycle infrastructure is an important step towards the sustainable development of the city and improving the quality of life of its residents. The main directions of development are the process of creating convenient and safe conditions for cycling in the city or in another locality. Such infrastructure includes bike paths, bicycle parking, special traffic lights and signs, as well as other engineering solutions that take into account the needs of cyclists. The main advantages are identified – firstly, the reduction of traffic jams and environmental pollution. Cyclists do not use gasoline and do not emit harmful substances, which makes a significant contribution to environmental protection. Secondly, the development of cycling infrastructure contributes to a healthy lifestyle. Cyclists get physical activity that is good for their health. Thirdly, cyclists can reach their destinations faster, as bicycles can bypass traffic jams and move along bike paths.

**Conclusions:** When analyzing the experience of designing, transforming and reconstructing public spaces, including bicycle and transport infrastructure facilities, it was revealed that large open spaces with various points with social services, parking points and landscaped territories favorably affect the increase in the percentage of the bicycle-mobile population; The infrastructural filling of public space, where transport and tourist infrastructure facilities, commercial facilities, and elements of free use are integrated into the street environment, also have a good effect on the interest of urban residents in public spaces;

It is also important to create urban transits for the bicycle-mobile population, spaces interacting with adjacent buildings, which are a logical continuation of the environment and ensuring the safety of these spaces and transits for the bicycle-mobile population.

**Key words:** Bicycle mobility of the population; Comfortable urban environment; Transformation of the urban environment; Environment.

УДК: 719; 69.059.7

ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ АРХИТЕКТУРНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО НАСЛЕДИЯ  
Г. БАХЧИСАРАЯЯцковская О.П.<sup>1</sup>, Живица В.В.<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,  
Институт «Академия строительства и архитектуры»  
295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181,  
<sup>1</sup>olya9805@mail.ru, <sup>2</sup>vzhivisa@mail.ru

**Аннотация:** В статье проведён анализ существующих литературных теоретических трудов по теме исследования, а также нормативно-правовой и законодательной документации в сфере сохранения и современного использования объектов культурного наследия. Проанализировано существующее состояние объектов культурного наследия (памятники архитектуры и градостроительства) г. Бахчисарая. Рассмотрены факторы, влияющие на реализацию задачи сохранения объектов культурного наследия. Сформулированы проблемы сохранения архитектурно-градостроительного наследия г. Бахчисарая.

**Предмет исследования:** современное состояние памятников архитектуры и градостроительства г. Бахчисарая, а также анализ законодательства в области сохранения культурного наследия.

**Материалы и методы:** Решение поставленных в статье задач осуществлялось на основе эмпирического и теоретического метода исследования с применением общенаучных методов исследования. Материалом послужили Интернет-ресурсы, литературные источники, а также нормативно-правовая база Российской Федерации. Были осуществлены натурные исследования (визуальный метод) и фотофиксация объектов культурного наследия г. Бахчисарая.

**Результаты:** Мероприятия по защите памятников от разрушения можно разделить на две типа: во-первых, защита от воздействия человека и, во-вторых, контроль разрушений природного характера, так как природные и антропогенные факторы являются основными причинами разрушения памятников градостроительства и архитектуры.

**Выводы:** на основании проведённого анализа литературных и нормативных документов по теме исследования сделан вывод: охрана памятников, культурного наследия является важной задачей государственных органов управления, общественных организаций. В ходе анализа объектов культурного наследия Бахчисарая выявлено, что город обладает чрезвычайно богатым историко-культурным архитектурно-градостроительным наследием. Каждый памятник уникален и отражает архитектурные, градостроительные, эстетические, культурные традиции времени его возведения. Физическое состояние более половины находящихся под охраной государства памятников истории и культуры города Бахчисарая продолжает ухудшаться. В этой связи необходима разработка проекта охранных зон для всех объектов культурного наследия с последующим жёстким государственным регулированием соблюдения режима использования данных территорий. Основная задача современного общества – обеспечить сохранение объектов культурного наследия так, чтобы их можно было увидеть воочию, а не изучать по документам, фотографиям или воспоминаниям очевидцев.

**Ключевые слова:** архитектурно-градостроительное наследие, объекты культурного наследия, реконструкция, реставрация, историческая память, памятники истории и культуры, архитектурно-композиционные доминанты.

## ВВЕДЕНИЕ

На протяжении почти 500 лет город Бахчисарай является местом притяжения людей разных национальностей, конфессий и профессий. Туристический статус города, приобретенный им еще в XIX веке, сохраняет свою актуальность и сейчас. Ежегодно множество туристов приезжает сюда для изучения объектов культурного наследия, для активного отдыха, духовного просвещения и оздоровления.

Проблема сохранения объектов культурного наследия в современном обществе приобрела особую актуальность. Памятники архитектуры и градостроительства созданы человеком, соучастником прошлого, настоящего и будущего. И от человека зависит, сохранятся ли эти материальные свидетельства прошедших исторических эпох, и в каком состоянии перейдут к последующим поколениям.

Сохранение культурных ценностей и передача их будущим поколениям – основная задача любого народа. Так как современное общество переживает

социальные, экономические, духовные перемены, глубокое изучение, сохранение и современное использование памятников архитектурно-градостроительного, культурно-исторического наследия имеет особое значение. Его потеря неизбежно приведет к разрыву исторической памяти, уничтожению культурного богатства. Такая утрата не может быть компенсирована строительством новых зданий и повышением комфорта городской среды.

Поэтому у государства в приоритете должно быть решение вопросов охраны культурного наследия, сохранения уникальных исторических территорий с комплексной регенерацией памятников истории и культуры, традиционных форм хозяйствования и природопользования, а также повышение туристической привлекательности данных объектов.

Охрана памятников – это борьба за правильное понимание истории, за общественное сознание людей, населяющих города [1, с.4]. Поэтому ущерб, наносимый объектам культурного наследия и пренебрежение их охраной в любой форме

проявления – это ущерб, наносимый национальной культуре народа [2, с.7].

Цель исследования: на базе комплексного анализа архитектурно-градостроительной ситуации г. Бахчисарая, сформулировать перечень существующих проблем сохранения объектов культурного наследия.

#### **Задачи исследования:**

1. Провести анализ литературных теоретических трудов по теме исследования.
2. Проанализировать существующее состояние объектов культурного наследия (памятники архитектуры и градостроительства) г. Бахчисарая.
3. Рассмотреть факторы, влияющие на объекты культурного наследия города.
4. Выявить проблемы сохранения архитектурно-градостроительного наследия г. Бахчисарая.

### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

Исследования архитектурно-градостроительных памятников г. Бахчисарая занимались авторы: А.М. Байбуртский [3], С.Г. Бочаров, Ш.С. Сейтумеров [4], Т.А. Бурцева, К.С. Преснякова [5], А.Г. Герцен [6], Д.А. Ломакин, Е.А. Айбабина [7], А.Ю. Манаев, В.Г. Зарубин [8], Д.А. Моисеев, А.М. Корженков, А.Н. Овсяченко, Е.А. Рогожин, А.С. Ларьков [9], Э.Э. Османов [10-14], Н.Х. Халит [15], Н. Халитов [16], М.М. Чорев [17].

Проблемы музейной презентации архитектурно-градостроительных объектов и особенности современной эксплуатации объектов культурного наследия осветили в своих работах авторы: Н.В. Николаенко, А.В. Швецова, В.А. Шилина, Н.Г. Попович [18-20].

Общие вопросы реконструкции в историческом центре города, в том числе на примере памятников г. Бахчисарая рассматривали Т. Павлова [21], Э.Э. Османов [22-23] и другие.

Основным законодательным актом, регулирующим любые отношения в области сохранения, использования, популяризации и государственной охраны объектов культурного наследия на территории Российской Федерации является Федеральный закон №73-ФЗ от 25.06.2002 «Об охране и использовании памятников истории и культуры» (памятники истории и культуры) народов Российской Федерации».

Следует отметить, что в связи с рядом исторических геополитических факторов на территории Республики Крым, наряду с российскими, действуют также нормы советского и украинского периодов.

Объекты культурного наследия г. Бахчисарая поставлены на государственный учёт следующими документами:

- Решением Крымского облисполкома №284 от 22.05.1979; №16, уч.№665 от 15.01.1980; №284 от 05.06.1984;
- Постановлением Правительства АР Крым №72 от 19.03.1996;

- Приказом Министерства культуры и туризма Украины №957/0/16-10 от 25.10.2010;

- Приказом Министерства культуры Украины №45 от 20.01.2012; №814 от 31.07.2012;

- Распоряжением Правительства Российской Федерации №2073-р от 17.10.2015 «Объекты культурного наследия федерального значения».

- Приказом Государственного комитета по охране культурного наследия Республики Крым «Об утверждении охранного обязательства собственника или иного законного владельца объекта культурного наследия федерального значения «Ханский дворец, дата сооружения: XVI – XIX века» по адресу: Республика Крым, г. Бахчисарай, ул. Речная, 133» №2 от 22.01.2016 г.

- Законом Республики Крым «Об объектах культурного наследия в Республике Крым» №68-ЗРК от 8 августа 2014 г.

Таким образом, охрана объектов культурного наследия является важной задачей государственных органов управления, общественных организаций, а также всех специалистов, имеющих возможность влиять на принятие решений в сфере охраны объектов культурного наследия и реализовывать проекты по реставрации, консервации и современному использованию архитектурно-градостроительных памятников. Эта тема так популярна и важна в связи с множеством спорных вопросов в сфере сохранения объектов культурного наследия, возникающих из-за конфликта интересов в обществе и разночтений в нормативно-законодательной базе.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Решение поставленных в статье задач осуществлялось на основе эмпирического и теоретического методов с применением общенаучных методов исследования. Материалом послужили Интернет-ресурсы, литературные источники, а также нормативно-правовая база Российской Федерации. Были осуществлены натурные исследования (визуальный метод) и фотофиксация объектов культурного наследия г. Бахчисарая.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ**

Богатая история Крыма, обусловленная удобным расположением полуострова на пересечении международных торговых путей, способствовала созданию уникальной архитектурно-градостроительной культуры, в которой нашли отражение строительные приёмы и технологии многих народов.

В XIII в. Крымская орда отделилась от Золотой Орды и образовала на территории Крымского полуострова ханство. С XV в. по конец XVIII в. Крымское ханство находилось под верховным протекторатом Турции.

Эти исторические этапы повлияли на характер развития татарского искусства в Крыму. С XIII в. по XVIII в. также осуществлялось сильное воздействие итальянского Ренессанса. А это обеспечило возможность возведения прекрасных зданий, сооружений, градостроительных комплексов,

являвшихся отражением архитектурной и инженерной мысли разных эпох.

В начале 1916 года в г. Бахчисарае возник отдел Петроградского «общества защиты и сохранения в России памятников искусства и старины» (рис. 1).

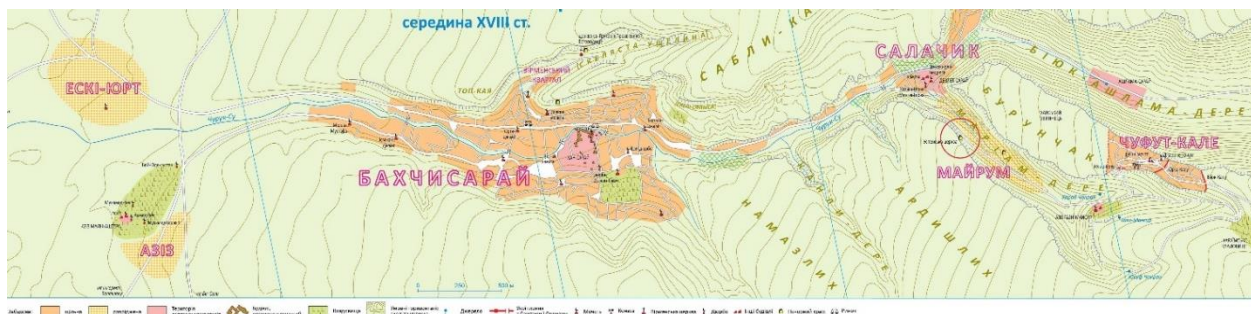


Рис. 1. Бахчисарай с окрестностями середина XVIII в.

Fig. 1. Bakhchisarai with its surroundings in the middle of the XVIII century

С 1994 г. Институт Наследия при поддержке Министерства культуры РФ и Госкомэкологии России осуществлял проект по экологическому мониторингу состояния объектов культурного наследия в разных регионах Российской Федерации.

В настоящее время в границах города Бахчисарае находится 10 объектов, входящих в перечень объектов культурного наследия федерального значения, 31 объект, состоящие в списке объектов культурного наследия регионального значения, а также 15 объектов, включенных в перечень выявленных объектов культурного наследия.

Согласно Распоряжению Совета министров Республики Крым № 69-р от 5.02.2015 г. «Об утверждении Перечня особо охраняемых природных территорий регионального значения Республики Крым» в границах городского поселения Бахчисарай расположены особо охраняемые природные территории, каждая из которых занимает значительные территории и содержит в своём составе большое количество природных и историко-культурных объектов.

Например, ландшафтно-рекреационный парк «Бахчисарай» состоит из 8 отдельных участков, в том числе в него входят земли Бахчисарайского историко-культурного заповедника (рис. 2).

В свою очередь указанный заповедник представляет комплекс памятников истории и архитектуры включающий: Ханский дворец в Бахчисарае; «пещерные города» Чufут-Кале, Мангуп-Кале, Эски-Кермен; средневековую крепость княжества Феодоро на Мангупе; Юсуповский дворец в Соколином; «ханские кладбища»; все «дюрбе» Бахчисарайского района и др. исторические памятники и музеи.

Пещерный город «Чufут-Кале» (время создания приблизительно в конце VI – VII вв.) расположен на плато высотой 558 м над уровнем моря на окраине г. Бахчисарай. Общая площадь городища 46 га. Согласно письменным источникам XIII-XVI в., его называли Кырк-Ер или Кырк-Ор, что в переводе с тюркского означает «сорок укреплений» (рис. 3).

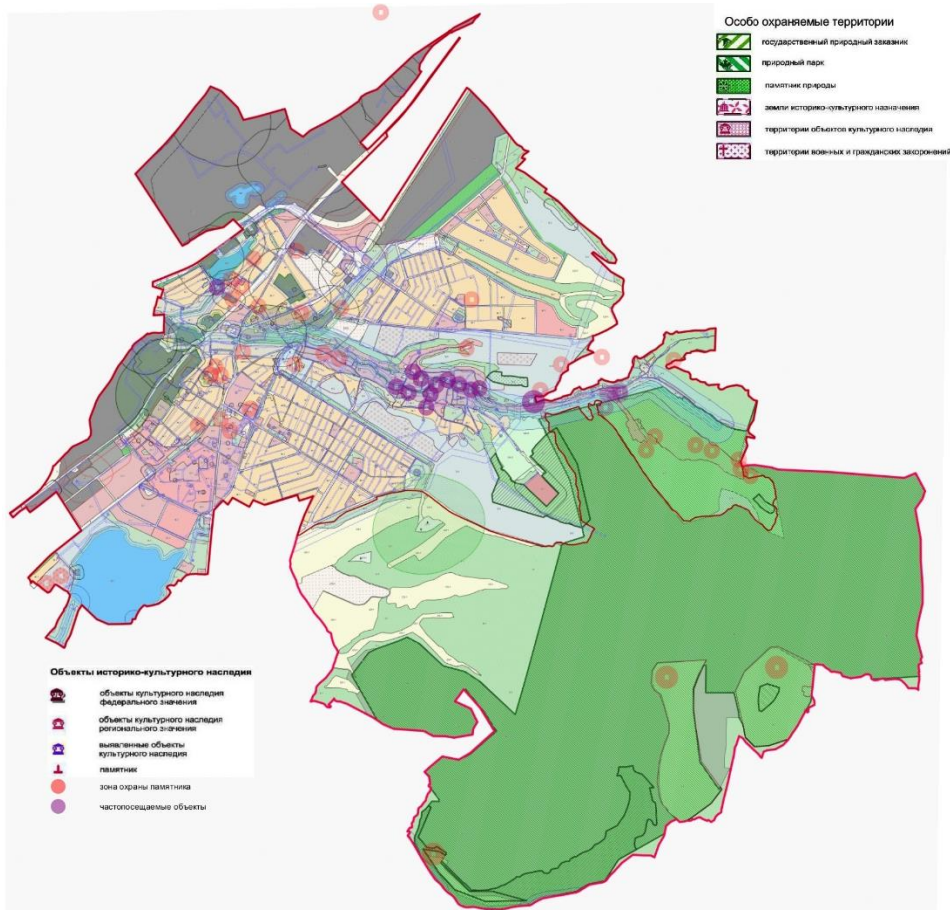


Рис. 2. Карта комплексного анализа г. Бахчисарай с обозначением размещения объектов культурного наследия  
 Fig. 2. Map of the complex analysis of the city of Bakhchisarai with the designation of the placement of cultural heritage objects



Рис. 3. Ситуационная схема Чуфут-Кале  
 Fig. 3. Situational plan of Chufut-Kale

На рисунке 3 приведена ситуационная схема Чуфут-кале, дающая общее представление о масштабах комплекса и его насыщенности историко-культурными объектами:

1. Раннесредневековый могильник в Марьям-дере;
2. Остатки застройки мариамполиса;
3. Дюрбе Хаджи-Гирея – Менгли-Гирея и Зинджарлы-медресе;
4. Раннесредневековый могильник на территории Салачика;
5. Оборонительная стена Бююк-исар;
6. Оборонительная стена Кичик-исар;
7. Оборонительная стена Дут-исар;
8. Оборонительная стена Пенджере-исар;
9. Ворота Кичик-капу, южный участок обороны Старого города;
10. Кенасы;
11. Средняя оборонительная стена;
- 12.

Восточная оборонительная стена; 13. Бурунчакская стена; 14. Раннесредневековый могильник Ашлама-дере.

Историко-археологический комплекс Салачик (Староселье, Эски Салачик – «Старый Салачик») – место строительства первого дворца крымских ханов. Салачик, расположен в западной части подножья горы Чуфут-кале между двух долин Ашлама-дере и Марьям-дере. С южной стороны его территория граничит с современной жилой застройкой, а с юго-запада – с плато Чуфут-кале. До середины XX в. Салачик являлся самостоятельным и обособленным от Бахчисарая поселением (рис. 4).

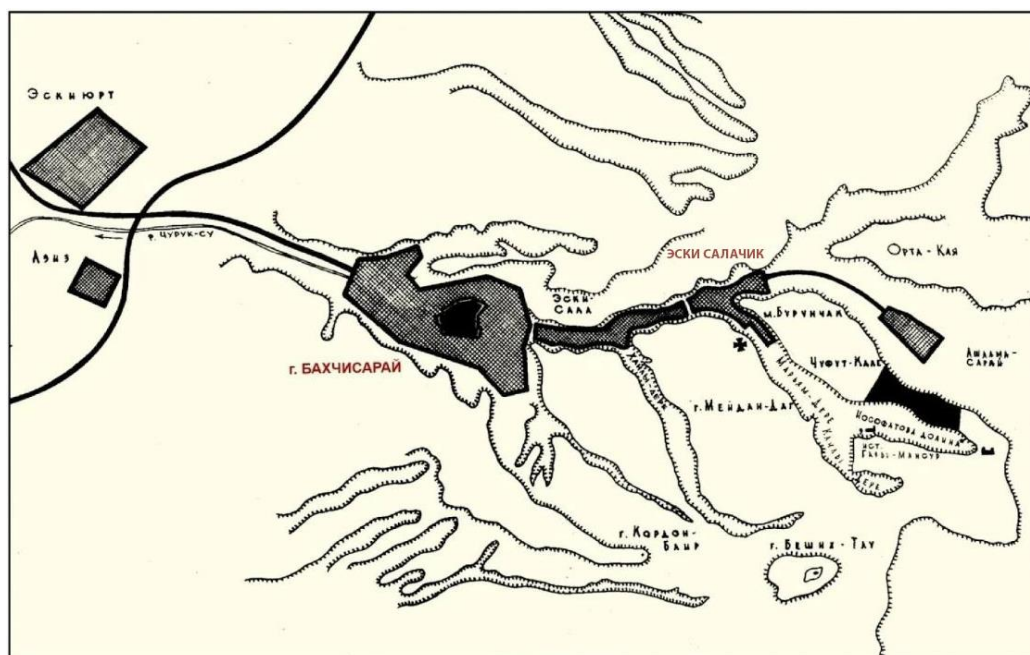


Рис. 4. Схема градостроительного развития города Бахчисарай. Середина XVI в.

Fig. 4. Scheme of urban development of the city of Bakhchisarai. The middle of the XVI century

Также можно выделить несколько татарских памятников 18 века:

- 1) Кладбище «Кырк-Азизлер» в Эски-Юрте (Бахчисарай).
- 2) Дюрбе принцессы Ненкеджан-Ханым в «Чуфут-Кале» (Бахчисарай).
- 3) Эски-Дюрбе в Бахчисарае и несколько других памятников.

Памятники архитектуры и градостроительства вызывают сильное эмоциональное воздействие на

зрителя, при их осмотре возникает эффект сопричастности к тем или иным историческим событиям. Такими объектами являются: дом, в котором жил известный купец, вложивший огромный вклад в развитие города Бахчисарай – жилой дом им. Д.И. Пачаджи (рис. 5); типография, в которой трудился И. Гаспринский, редактор первой крымскотатарско-русской газеты «Терджиман-Переводчик» (рис. 6).



**Рис. 5.** Дом Д.И. Пачаджи  
**Fig. 5.** The House of D.I. Pachajji



**Рис. 6.** Музей Исмаила Гаспринского  
**Fig. 6.** Ismail Gasprinsky Museum

Памятники истории и культуры, наряду с иными объектами окружающей среды, подвергаются с течением времени воздействию разнообразных факторов риска, которые могут быть подразделены на естественные и антропогенные. В настоящее время значительная часть объектов архитектурно-градостроительного наследия в г. Бахчисарае из-за отсутствия охранных мер уничтожена или находится под угрозой деформаций и последующего разрушения.

В настоящее время архитектурный образ Старого города потерял значительную часть

важных элементов застройки. Это отчетливо можно проследить на примере мечетей Бахчисарая.

По исторически сложившейся градостроительной тенденции татарский город делился на кварталы (маалле), в которых, помимо жилья, обычно располагались мечеть и кладбище. Часто название прихода давали по названию мечети, например, кварталы: «Тахталы-Джами», «Арслан-Ага», «Янгъан-Джами» и др.

Мечеть в квартале «Къады-маалле» была построена в конце XV в. [25, с. 40].

По свидетельству Э. Челеби в XVII в. в Бахчисарае действовали 24 мечети [26, с.48].

В конце XVIII века в Бахчисарае уже насчитывалось 36 мечетей.

Однако ряд антропогенных и природных факторов привёл к постепенному сокращению

численности мечетей. Например, землетрясение в 1927 г., значительно повредило минареты мечетей «Къады-маалле» (рис. 7) и «Асма-Кую» (рис. 8) [25, с.3].



**Рис. 7.** Мечеть с минаретом по ул. Басенка, пострадавшая от землетрясения. Салачик, 1920 г.

**Fig. 7.** A mosque with a minaret on Basenka Street, damaged by an earthquake. Salachik, 1920



**Рис. 8.** Мечеть в махалле Асма-Кую, ул. Краснофлотская / ул. Большевик Махалле Асма-кую, 1915 г.

**Fig. 8.** Mosque in mahalla Asma-Kuyu, Krasnoflotskaya str. / Bolshevik Mahalla Asma-kuyu str., 1915

На сегодняшний день в городе Бахчисарае сохранилось всего семь мечетей, из них по прямому назначению используются четыре. Определяющим стал фактор близкого расположения к Ханскому дворцу, которому в структуре исторического центра старого города отводилась градоформирующая, архитектурная и композиционная роли.

Ещё одним негативным антропогенным фактором уничтожения объектов культурного наследия является коммерческое строительство. Снос ценных, но ветхих строений происходит с целью получения новых строительных площадок в туристической части города. А это способствует разрушению единой исторической среды поселения.

Сегодня из-за огромного количества снесенных жилых домов, общественных и культовых

сооружений, представляющих историческую ценность, планировка города претерпела серьезные изменения, нарушились визуальные связи, исчезли архитектурно-композиционные доминанты.

В 1979 году Крымский облисполком решением № 284 утвердил охранную зону и зону регулируемой застройки вокруг памятника культуры национального значения – Ханского дворца.

В 2011 году НИИ Памятикоохранных исследований Киева также проводил работу по определению охранных зон вблизи Ханского дворца [29, с.1]. Охранное зонирование ближайшего окружения Ханского дворца в 2012 году было утверждено приказом Министерства культуры Украины и в настоящее время признаётся на территории российского Крыма (Рис. 9).



**Рис. 9.** Схема охранных зон Ханского дворца (согласно сведений публичной кадастровой карты Российской Федерации)  
**Fig. 9.** Scheme of security zones of the Khan's Palace (according to the information of the public cadastral map of the Russian Federation)

Таким образом, земельные участки в округе «старого города» расположены в охранной зоне с особыми условиями использования территории. В границах этой зоны запрещается:

- 1) строительство объектов капитального строительства и размещение иных объектов;
- 2) реконструкция, капитальный ремонт объектов капитального строительства и иных объектов в случае, если такая реконструкция затрагивает внешний архитектурный вид указанных объектов.

Однако администрация города Бахчисарая в 2016 году проигнорировала требования к режиму

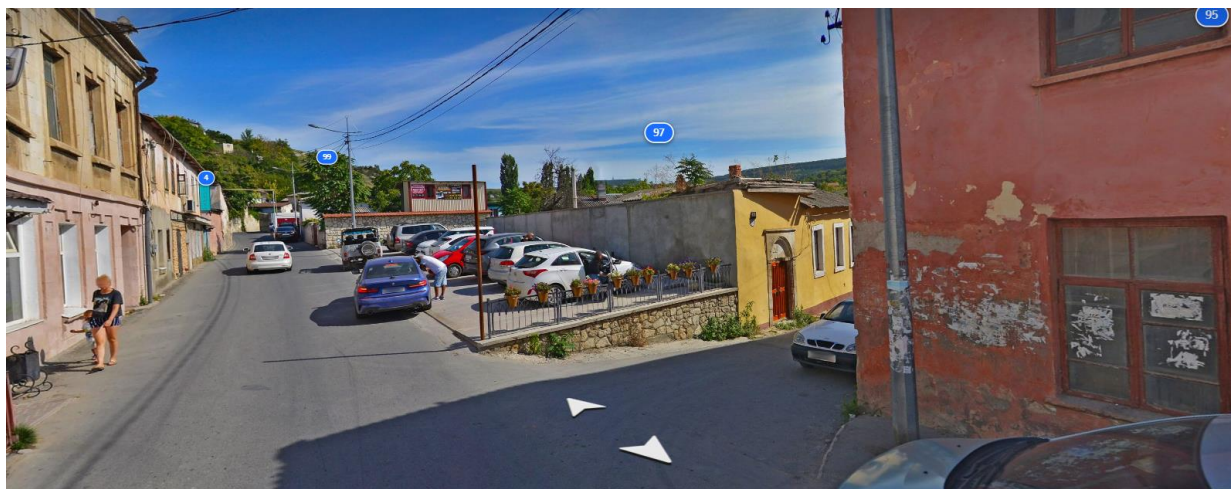
использования территорий, находящихся в зоне охраны, снеся двухэтажное жилое здание 18-го века со статусом вновь объявленного объекта культурного наследия, располагавшееся по ул. Ленина 97, в 200 метрах от Ханского дворца (рис. 10). По словам Валерия Борисова, долгое время являвшегося главным архитектором Бахчисарайского района, в сносе здания не было необходимости, т.к. его реконструкция стоила бы дешевле [28, с.1].

В настоящее время на месте разрушенного здания устроена открытая автостоянка (рис. 11).



**Рис. 10.** Уничтожение градостроительной исторически сложившейся среды г. Бахчисарая. Октябрь-ноябрь 2016 года

**Fig. 10.** Destruction of the historically developed urban environment of Bakhchisarai. October-November 2016



**Рис. 11.** Парковка на месте разрушенного здания  
**Fig. 11.** Parking on the site of the destroyed building

Ещё одной «жертвой» непрофессиональных действий людей, отвечающих за восстановление архитектурных, конструктивных и инженерных характеристик памятника является основная достопримечательность г. Бахчисарая – Ханский дворец.

Бахчисарайский дворец был построен в начале XVI в. В 1736 г. во время пожара сгорело почти все, за исключением каменных частей дворца. В 1740 г. дворец был заново построен Селямет-Гирей-ханом. В этом же году была построена Хан-Джами (ханская мечеть), при дворце. В 1742 г. – входные двери в залу суда, в 1753 г. – беседка в гаремном саду, разрушенная в начале текущего столетия [24, с. 44]. После этого на протяжении почти 300 лет Дворец ремонтировали и переделывали случайные люди в соответствии с действующей на момент ремонта модой, часто европейской, не учитывая

сложившиеся местные архитектурные традиции. Научно обоснованная реставрация дворца началась лишь в 1960 гг.

Однако, нарушение технологии работ по реставрации памятника и отсутствие технического надзора, привело к тому, что в феврале 2022 г. у здания главного фасада дворца образовалась трещина (рис. 12). Это произошло в результате работы по устройству канализации, в нарушение требований законодательства и проектной документации – исполнитель раскопал траншею и выбрал грунт под фундаментом здания. Это привело к образованию трещин и смещению наружной стены объекта, а также к расслоению камня опорной части ограждения набережной. В данном случае также существенна и вина заказчика, обязанного осуществлять технический надзор за работами на памятнике [30, с.1].



**Рис. 12.** «Трещина главного фасада Ханского дворца»  
**Fig. 12.** «Crack in the main facade of the Khan's Palace»

В настоящее время во дворце проводятся масштабные ремонтно-реставрационные работы. Согласно сведений паспорта объекта, расположенного на территории дворцового комплекса (рис. 13) в рамках федеральной целевой программы «Социально-экономическое развитие Республики Крым и г. Севастополя до 2024 года», застройщиком и государственным строительным

надзором служит Государственное автономное учреждение Республики Крым «Дирекция по централизованному обслуживанию и развитию учреждений сферы культуры». Исполнителем работ назначен ООО «СТК» «АС-СТРОЙ». Срок завершения работ на объекте запланирован на конец 2023 года. [31, с.1].



**Рис. 13.** Паспорт объекта на выполнение ремонтно-реставрационных работ» (слева); защитные сооружения над Ханским дворцом, 2022-2023 г. (справа)  
**Fig. 13.** Passport of the object for repair and restoration work" (left); protective buildings over the Khan's Palace, 2022-2023 (right)

Также стоит выделить ещё один фактор разрушения объектов культурного наследия: загрязнение атмосферного воздуха, способствующее формированию химически агрессивной среды и вызывающие разрушение строительных материалов, кирпичной, каменной кладки, слоев краски, штукатурки, декоративных элементов; деформацию керамической черепицы, повреждение водостоков, покрытий карнизов, деревянных резных изделий.

Также важной проблемой является загрязнение территории памятников бытовыми, промышленными, строительными отходами, что приводит к развитию биоповреждений строительных конструкций, нарушению дренажа поверхностных вод и заболачиванию почвы, замачиванию оснований фундаментов, подвалов и т.п.

Таким образом, можно сформулировать ряд проблем сохранения объектов культурного наследия г. Бахчисарая:

- отсутствие постоянного надзора за состоянием памятников со стороны государственных органов и общественной инспекции с целью предотвращения или своевременного нивелирования негативных последствий воздействия природных и антропогенных факторов;
- допущение без аргументированных обоснований сноса старых домов, расчистки кварталов, ценных исторических архитектурных и природных комплексов;
- застройка охранных зон и нарушение в их границах режима использования территорий;
- несоблюдение градостроительной дисциплины;

- нарушение режима современного использования памятников – обязательств, описанных в договорах аренды;
- ошибки при проведении ремонта и консерваций памятника;
- отсутствие противопожарной охраны;
- проявление вандализма со стороны посетителей памятников (нанесение на стены царапин, надписей, росписей и т.д.);
- нарушение температурно-влажностного режима внутри зданий, установка кондиционеров на фасадах зданий, которые приводят к развитию грибков и плесени, а также нарушают внешний аутентичный вид памятников;
- самовольное проникновение в особо охраняемые зоны и другое.

Воздействие антропогенного характера наносят заметный ущерб культурному наследию города Бахчисарая ввиду несоблюдения законодательства и технических инструкций, относящихся к охране и использованию памятников.

На сегодняшний день в мире используются четыре основных метода интеграции объектов культурного наследия в жизнь современного города и введение их в хозяйственный оборот: приватизация памятников с возложением обременений на частных владельцев; развитие культурно-познавательного туризма и создание туристических продуктов и брендов на базе объектов наследия; продажа «ауры» историко-культурного наследия, когда привлекательность исторических городов и отдельных исторических районов используется для повышения стоимости новой недвижимости.

Такие виды использования памятников могут компенсировать затраченный бюджет на реставрацию, а в дальнейшем, за счет финансирования от аренды или другого вида пользования объектом, поддерживать его состояние.

## ВЫВОДЫ

На основании проведенного анализа литературных и нормативных документов по теме исследования сделан вывод: охрана памятников, культурного наследия является важной задачей государственных органов управления, общественных организаций и специалистов в сфере градостроительства, архитектуры, реставраторов, историков, археологов и пр.

В ходе анализа объектов культурного наследия Бахчисарая выявлено, что город обладает чрезвычайно богатым историко-культурным архитектурно-градостроительным наследием. Каждый памятник уникален и отражает архитектурные, градостроительные, эстетические, культурные традиции времени его возведения.

Однако, физическое состояние более половины, находящихся под охраной государства памятников истории и культуры города, продолжает ухудшаться. Около 70% от общего числа объектов

культурного наследия нуждается в принятии срочных мер по спасению от разрушения.

В этой связи необходима разработка проекта охранных зон для всех объектов культурного наследия с последующим жёстким государственным регулированием соблюдения режима использования данных территорий.

Основная задача современного общества – обеспечить сохранение объектов культурного наследия так, чтобы их можно было увидеть воочию, а не изучать по документам, фотографиям или воспоминаниям очевидцев.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веденин, Ю.А. Культурное и природное наследие России: (Концепция и прогр. комплекс. атласа). [Текст] // Ю. А. Веденин, А. А. Лютый, А. И. Ельчанинов, В. В. Свешников; [Отв. ред. А. А. Лютый]. – М: Рос. НИИ культ. и природ. наследия, 1995. – 118 с.
2. Кулемзин А.М. Охрана памятников в России как историко-культурное явление [Текст] : монография / А.М. Кулемзин; Администрация Кемеровской обл., Кемеровская гос. акад. культуры и искусств, Кемер. обл. ин-т усовершенствования учителей – Кемерово : Кемеровский обл. ин-т усовершенствования учителей, 2001. – 327 с.
3. Байбуртский, А.М. Храм Григория Просветителя XVII-XVIII вв. С армянским кладбищем на улице Пушкина в городе Бахчисарая: краткий обзор результатов археологического исследования 1996-2003, 2020 гг. [Текст] // А. М. Байбуртский // История и археология Крыма. – 2021. – № 14. – С. 259-292. Режим доступа: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_47128583\\_82313058.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_47128583_82313058.pdf) (дата обращения: 09.04.2023).
4. Бочаров, С.Г. Бахчисарай - введение в историческую топографию столицы Крымского ханства [Текст] // С. Г. Бочаров, Ш. С. Сейтгумеров // Средневековые тюрко-татарские государства. – 2017. – № 9. – С. 21-30. Режим доступа: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_32293411\\_81169106.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_32293411_81169106.pdf) (дата обращения: 09.04.2023).
5. Бурцева, Т.А. Разработка нового тура экскурсионного туризма на примере маршрута "Бахчисарай - Мангуп-Кале" [Текст] // Т. А. Бурцева, К. С. Преснякова // Наука и общество - 2019: Материалы межд. науч. конф., Ростов-на-Дону, 26 апреля 2019 года / Под редакцией Н.Б. Осипян, М.А. Дмитриевой, М.И. Жбанниковой. – Ростов-на-Дону: Московский университет им. С.Ю. Витте, 2019. – С. 82-88. Режим доступа: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_41155628\\_56926400.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_41155628_56926400.pdf) (дата обращения: 09.04.2023).
6. Герцен А. Г. Вспоминая Виталия Николаевича Даниленко («страна «пещерных городов»»: незавершенный проект ЮНЕСКО). [Текст] // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Серия «Исторические науки». Том 2 (68), № 1. – 2016 г. – С. 26 - 38.

7. Ломакин, Д. А. Беседка Селямет Герая в Бахчисарайском Дворцовом комплексе. [Текст] // Ломакин, Д. А., Айбабина, Е. А. / Археология Евразийских степей, (4), 2022.– С. 274–281. <https://doi.org/10.24852/2587-6112.2022.4.274.281>. Режим доступа: <https://evrazstep.ru/index.php/aes/article/view/814>
8. Манаев, А.Ю. Мангуп-Кале в системе государственной охраны памятников в 1917-2017 гг. [Текст] // А.Ю. Манаев, В.Г. Зарубин / Материалы по археологии, истории и этнографии Таврии. 2017. № 22. С. 506-534. Режим доступа: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_30725189\\_94936349.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_30725189_94936349.pdf) (дата обращения: 09.04.2023).
9. Следы сильных разрушительных землетрясений в Ханском дворце и его окрестностях (Бахчисарай, Крым) [Текст] // Д. А. Моисеев, А. М. Корженков, А. Н. Овсюченко [и др.] // Физика Земли. – 2021. – № 4. – С. 101-119. – DOI 10.31857/S0002333721030091. Режим доступа: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_46121036\\_90841195.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_46121036_90841195.pdf) (дата обращения: 09.04.2023).
10. Османов, Э.Э. Мечеть «Ешиль-Джами» в Бахчисарае. [Текст] // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Исторические науки». Том 26 (65), № 1. 2013 – г. С. 76-84. Режим доступа: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_25066218\\_62383859.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_25066218_62383859.pdf) (дата обращения: 09.04.2023).
11. Османов, Э.Э. Мечети старого Бахчисарая: к истории ремонтно-реставрационных работ [Текст] // Э. Э. Османов // Современная научная мысль. – 2015. – № 4. – С. 12-27. – EDN UBPRXX. [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_23836025\\_45846688.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_23836025_45846688.pdf) (дата обращения: 09.04.2023).
12. Османов, Э.Э. Развитие городской инфраструктуры Бахчисарая в начале XX в [Текст] // Э. Э. Османов // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Серия: Филология. История. – 2021. – № 1. – С. 54-58. – EDN QGKJIT. Режим доступа: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_46452438\\_75877816.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_46452438_75877816.pdf) (дата обращения: 09.04.2023).
13. Османов, Э.Э. Город в Крыму Бахчисарай в конце XIX - начале XX вв.: проблемы благоустройства [Текст] // Э. Э. Османов // Вестник Калмыцкого университета. – 2018. – № 3(39). – С. 40-47. – EDN YAQVTF. Режим доступа: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_35681117\\_42759530.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_35681117_42759530.pdf) (дата обращения: 09.04.2023).
14. Османов, Э.Э. Город в Крыму Бахчисарай в конце XIX - начале XX вв.: проблемы благоустройства [Текст] // Э. Э. Османов // Вестник Калмыцкого университета. – 2018. – № 3(39). – С. 40-47. – EDN YAQVTF. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_35681117\\_78668343.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_35681117_78668343.pdf) (дата обращения: 09.04.2023).
15. Халит, Н.Х. Архитектура Крымского ханства [Текст] // Н. Х. Халит // Крымское историческое обозрение. – 2014. – № 2. – С. 243-281. Режим доступа: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_23882626\\_22384011.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_23882626_22384011.pdf) (дата обращения: 10.04.2023).
16. Халитов, Н. Татарские дворцовые комплексы 15-16 вв.: некоторые закономерности архитектуры [Текст] // Н. Халитов. – 2014. – № 1(33). – С. 54-61. Режим доступа: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_24400922\\_46641824.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_24400922_46641824.pdf) (дата обращения: 09.04.2023).
17. Чореф, М.М. Мечети на ул. Севастопольской (г. Бахчисарай) [Текст] // М. М. Чореф // Материалы и исследования по истории России: Сборник научных трудов / Отв. Редактор М.М. Чореф. Том Выпуск 12. – Нижневартовск: Издательство Киммерия, 2020. – С. 35-43. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_43137497\\_29599282.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_43137497_29599282.pdf) (дата обращения: 09.04.2023).
18. Николаенко, Н. В. Современные проблемы развития музейного туризма в Крыму [Текст] // Н. В. Николаенко, А. В. Швецова, В. А. Шилина // Приоритетные направления и проблемы развития внутреннего и международного туризма : Материалы V Международной научно-практической конференции, посвященной 5-ти летию основания кафедры туризма Крымского университета культуры, искусств и туризма, п. Форос, 22–23 мая 2020 года. – п. Форос: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2020. – С. 216-221. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_44464982\\_79238259.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_44464982_79238259.pdf) (дата обращения: 09.04.2023).
19. Николаенко Н.В. К проблеме рационального использования потенциала природного и культурного наследия Крыма: особенности развития на основе концепции уникальной исторической территории [Текст] // Этническая культура. – 2022. – Т. 4, № 1. – С. 26-30.
20. Николаенко Н.В. Перспективы музейной репрезентации утраченных объектов культурного наследия: архитектурные памятники Тавриды [Текст] // Н. В. Николаенко, Н. Г. Попович, А. В. Швецова. – 2021. – Т. 11, № 3-1. – С. 111-119. – DOI 10.34670/AR.2021.41.49.018. Режим доступа: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_46691029\\_26919991.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_46691029_26919991.pdf) (дата обращения: 09.04.2023).
21. Павлова, Т. Операции на сердце: [реконструкции в исторических центрах городов] [Текст] // Т. Павлова. - (Контекст места). - Текст: непосредственный // Архитектура. Строительство. Дизайн. – 2015. – № 1 (78). – С. 82-85.
22. Османов, Э. Э. Ремонтные работы гражданских построек Бахчисарая в конце XIX – начале XX века / Э. Э. Османов // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Исторические науки. – 2015. – Т. 1 (67), № 4. – С. 40-58. Режим доступа: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_25721939\\_53112771.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_25721939_53112771.pdf) (дата обращения: 09.04.2023).
23. Османов, Э. Э. Ремонтно-реставрационные работы в архитектурном комплексе Ханского дворца в 1944-1990 гг. [Текст] // Э. Э. Османов // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия:

Исторические науки. – 2013. – Т. 26 (65), № 2. – С. 96-111. – EDN VBOTNL. Режим доступа: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_25022513\\_76443612.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_25022513_76443612.pdf) (дата обращения: 09.04.2023).

24. Собрание сочинений [Текст] / Усеин Боданинский; [переводы с крымскотатарского: Э. Э. Абибулаева и др.; составитель Р. Р. Эминов]; Институт истории им. Ш. Марджани Академии наук Республики Татарстан, Крымский научный центр [и др.]. – Казань; Симферополь: Ин-т истории им. Ш. Марджани АН РТ, 2019. – 25 см. – (Наследие Крыма = Кырым мирасы); ISBN 978-5-94981-303-4.

25. ГКУ РК «ГАРК», ф. 27, оп. 13, д. 8314. Список существующим мечетям в Симферопольском уезде Таврической губернии. Составлен 11 апреля 1889 г по городу Бахчисараю, 268 с.

26. Челеби, Э. Книга путешествия. Крым и сопредельные области. (Извлечения из сочинения турецкого путешественника XVII века) / Э. Челеби; пер. Е. В. Бахревского. – Симферополь: Доля, 2008. – 272 с.

27. ГКУ РК «ГАРК», ф. Р-663, КрымЦИК Крымской АССР, 1921-1938 гг., оп. 10, д. 1567. Выписка из протокола заседания Президиума КрымЦИКа о ликвидации мусульманской мечети «Осман-Кую» в г Бахчисарае в 1928 г., – 3 с.

28. Борисов, В. «Деградация: как чиновники «науправлялись» градостроительным процессом в Бахчисарае» [Электронный ресурс] // 11.09.2018. Режим доступа: <https://novoross.info/krim/48342-degradaciya-kak-chinovniki-naupravlyalis-gradostroitelnyj-processom-v-bahchisaraj-foto.html> (дата обращения: 09.04.2023).

29. An-crimea.ru. Петрунин, Е. «В Бахчисарае сносят историческое здание» «Аргументы недели – Крым». [Электронный ресурс] // 12.10.2016. Режим доступа: <https://an-crimea.ru/page/news/146276> (дата обращения: 09.04.2023).

30. Ria.ru. РИА НОВОСТИ «Прокуратура установила причину появления трещин на Ханском дворце в Крыму» [Электронный ресурс] // 07.04.2022 (обновлено: 12:08 04.05.2022) Режим доступа: <https://ria.ru/20220407/dvoret-1782380550.html> (дата обращения: 09.04.2023).

31. Rk.gov.ru Правительство Республики Крым. Новости. «Минкульт РК: Завершение работ на объекте культурного наследия федерального значения «Ханский дворец» запланировано на 2023 год» [Электронный ресурс] // 15.12.2021. Режим доступа: <https://rk.gov.ru/ru/article/show/14445> (дата обращения: 09.04.2023).

## REFERENCES

1. Vedenin, YU.A. Kul'turnoe i prirodnoe nasledie Rossii : (Konceptsiya i progr. kompleks. atlasa). [Tekst] // YU. A. Vedenin, A. A. Lyutyj, A. I. El'chaninov, V. V. Sveshnikov; [Otv. red. A. A. Lyutyj]; Ros. NII kul't. i prirod. naslediya. – Moskva : Ros. NII kul't. i prirod. naslediya, 1995. – 118 s. : skhem., kart.; 20 sm.; ISBN

5-86443-015-3 : B. c. Kulemzin A.N. Ohrana pamyatnikov v Rossii // 1990.

2. Kulemzin A.M. Ohrana pamyatnikov v Rossii kak istoriko-kul'turnoe yavlenie [Tekst] : monografiya / A.M. Kulemzin; Administraciya Kemerovskoj obl., Kemerovskaya gos. akad. kul'tury i iskusstv, Kemer. obl. in-t usovershenstvovaniya uchitelej – Kemerovo : Kemerovskij obl. in-t usovershenstvovaniya uchitelej, 2001. – 327, [1] s.; 20 sm.; ISBN 5-7148-0181-4.

3. Bajburtskij, A.M. Hram Grigoriya Prosvetitelja XVII-XVIII vv. S armyanskim kladbishchem na ulice Pushkina v gorode Bahchisarae: kratkij obzor rezul'tatov arheologicheskogo issledovaniya 1996-2003, 2020 gg. [Tekst] // A. M. Bajburtskij // Istoriya i arheologiya Kryma. – 2021. – № 14. – S. 259-292. – EDN NBUXXX. Rezhim dostupa: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_47128583\\_82313058.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_47128583_82313058.pdf) (data obrashcheniya: 09.04.2023).

4. Bocharov, S.G. Bahchisaraj - vvedenie v istoricheskuyu topografiyu stolicy Krymskogo hanstva [Tekst] // S. G. Bocharov, SH. S. Sejtumerov // Srednevekovye tyurko-tatarskie gosudarstva. – 2017. – № 9. – S. 21-30. – EDN YMAFWK. Rezhim dostupa: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_32293411\\_81169106.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_32293411_81169106.pdf) (data obrashcheniya: 09.04.2023).

5. Burceva, T.A. Razrabotka novogo tura ekskursionnogo turizma na primere marshruta "Bahchisaraj - Mangup-Kale" [Tekst] // T. A. Burceva, K. S. Presnyakova // Nauka i obshchestvo - 2019 : Materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, Rostov-na-Donu, 26 aprelya 2019 goda / Pod redakciej N.B. Osipyana, M.A. Dmitrievoj, M.I. ZHbannikovej. – Rostov-na-Donu: Moskovskij universitet im. S.YU. Vitte, 2019. – S. 82-88. – EDN YIFRQV. Rezhim dostupa:

[https://elibrary.ru/download/elibrary\\_41155628\\_56926400.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_41155628_56926400.pdf) (data obrashcheniya: 09.04.2023).

6. Gercen A. G. Vspominaya Vitaliya Nikolaevicha Danilenko («strana "peshchernyh gorodov"»): nezavershennyj proekt YUNESKO). [Tekst] // Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Seriya «Istoricheskie nauki». Tom 2 (68), № 1. – 2016 g. – s. 26-38.

7. Lomakin, D. A. Besedka Selyamet Geraya v Bahchisarajskom Dvorcovom komplekse. [Tekst] // Lomakin, D. A., Ajbabina, E. A. / Arheologiya Evrazijskih stepej, (4), 2022.– s. 274–281. <https://doi.org/10.24852/2587-6112.2022.4.274.281>. Rezhim dostupa: <https://evrazstep.ru/index.php/aes/article/view/814> (data obrashcheniya: 09.04.2023).

8. Manaev, A.YU. Mangup-Kale v sisteme gosudarstvennoj ohrany pamyatnikov v 1917-2017 gg. [Tekst] // A.YU. Manaev, V.G. Zarubin / Materialy po arheologii, istorii i etnografii Tavrii. 2017. № 22. S. 506-534. Rezhim dostupa: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_30725189\\_94936349.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_30725189_94936349.pdf) (data obrashcheniya: 09.04.2023).

9. Sledy sil'nyh razrushitel'nyh zemletryasenij v Hanskom dvorce i ego okrestnostyah (Bahchisaraj, Krym) [Tekst] // D. A. Moiseev, A. M. Korzhenkov, A. N. Ovsyuchenko [i dr.] // Fizika Zemli. – 2021. – № 4.

- S. 101-119. – DOI 10.31857/S0002333721030091. Rezhim dostupa: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_46121036\\_90841195.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_46121036_90841195.pdf) (data obrashcheniya: 09.04.2023).
10. Osmanov, E.E. Mechet' «Eshil'-Dzhami» v Bahchisarae. [Tekst] // Uchenye zapiski Tavricheskogo nacional'nogo universiteta im. V. I. Vernadskogo. Seriya «Istoricheskie nauki». Tom 26 (65), № 1. 2013 – g. S. 76-84. Rezhim dostupa: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_25066218\\_62383859.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_25066218_62383859.pdf) (data obrashcheniya: 09.04.2023).
11. Osmanov, E.E. Mecheti starogo Bahchisaraya: k istorii remontno-restavracionnyh rabot [Tekst] // E. E. Osmanov // *Sovremennaya nauchnaya mysl'*. – 2015. – № 4. – S. 12-27. – EDN UBPRXX. [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_23836025\\_45846688.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_23836025_45846688.pdf) (data obrashcheniya: 09.04.2023).
12. Osmanov, E.E. Razvitie gorodskoj infrastruktury Bahchisaraya v nachale HKH v [Tekst] // E. E. Osmanov // Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta. Seriya: Filologiya. Istoriya. – 2021. – № 1. – S. 54-58. – EDN QGKJIT. Rezhim dostupa: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_46452438\\_75877816.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_46452438_75877816.pdf) (data obrashcheniya: 09.04.2023).
13. Osmanov, E.E. Gorod v Krymu Bahchisaraj v konce XIX - nachale HKH vv.: problemy blagoustrojstva [Tekst] // E. E. Osmanov // *Vestnik Kalmyckogo universiteta*. – 2018. – № 3(39). – S. 40-47. – EDN YAQVTF. Rezhim dostupa: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_35681117\\_42759530.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_35681117_42759530.pdf) (data obrashcheniya: 09.04.2023).
14. Osmanov, E.E. Gorod v Krymu Bahchisaraj v konce XIX - nachale HKH vv.: problemy blagoustrojstva [Tekst] // E. E. Osmanov // *Vestnik Kalmyckogo universiteta*. – 2018. – № 3(39). – S. 40-47. – EDN YAQVTF. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_35681117\\_78668343.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_35681117_78668343.pdf) (data obrashcheniya: 09.04.2023).
15. Halit, N.H. Arhitektura Krymskogo hanstva [Tekst] // N. H. Halit // *Krymskoe istoricheskoe obozrenie*. – 2014. – № 2. – S. 243-281. Rezhim dostupa: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_23882626\\_22384011.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_23882626_22384011.pdf) (data obrashchenie 10.04.2023).
16. Halitov, N. Tatarskie dvorcovye komplekсы 15-16 vv.: nekotorye zakonomernosti arhitektury [Tekst] // N. Halitov. – 2014. – № 1(33). – S. 54-61. Rezhim dostupa: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_24400922\\_46641824.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_24400922_46641824.pdf) (data obrashcheniya: 09.04.2023).
17. CHoref, M.M. Mecheti na ul. Sevastopol'skoj (g. Bahchisaraj) [Tekst] // M. M. CHoref // *Materialy i issledovaniya po istorii Rossii : Sbornik nauchnyh trudov / Otv. Redaktor M.M. CHoref. Tom Vypusk 12. – Nizhnevartovsk : Izdatel'stvo Kimmeriya, 2020. – S. 35-43.* [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_43137497\\_29599282.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_43137497_29599282.pdf) (data obrashcheniya: 09.04.2023).
18. Nikolaenko, N. V. *Sovremennye problemy razvitiya muzejnogo turizma v Krymu* [Tekst] // N. V. Nikolaenko, A. V. SHvecova, V. A. SHilina // *Prioritetnye napravleniya i problemy razvitiya vnutrennego i mezhdunarodnogo turizma : Materialy V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 5-ti letiyu osnovaniya kafedry turizma Krymskogo universiteta kul'tury, iskusstv i turizma, p. Foros, 22–23 maya 2020 goda. – p. Foros: Obschestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu «Izdatel'stvo Tipografiya «Arial», 2020. – S. 216-221.* [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_44464982\\_79238259.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_44464982_79238259.pdf) (data obrashcheniya: 09.04.2023).
19. Nikolaenko, N.V. *K probleme racional'nogo ispol'zovaniya potenciala prirodno i kul'turnogo naslediya Kryma: osobennosti razvitiya na osnove koncepcii unikal'noj istoricheskoy territorii* [Tekst] // *Etnicheskaya kul'tura*. – 2022. – T. 4, № 1. – S. 26-30. DOI:10.31483/r-101523.
20. Nikolaenko, N.V. *Perspektivy muzejnoj reprezentacii utrachennoy ob"ektov kul'turnogo naslediya: arhitekturnye pamyatniki Tavridy* [Tekst] // N. V. Nikolaenko, N. G. Popovich, A. V. SHvecova. – 2021. – T. 11, № 3-1. – S. 111-119. – DOI 10.34670/AR.2021.41.49.018. – EDN FVBWHN. Rezhim dostupa: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_46691029\\_26919991.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_46691029_26919991.pdf) (data obrashcheniya: 09.04.2023).
21. Pavlova, T. *Operacii na serdce : [rekonstrukcii v istoricheskikh centrakh gorodov]* [Tekst] // T. Pavlova. - (Kontekst mesta). - Tekst : neposredstvennyj // *Arhitektura. Stroitel'stvo. Dizajn*. – 2015. – № 1 (78). – S. 82-85. – ISSN 1990-9942.
22. Osmanov, E. E. *Remontnye raboty grazhdanskikh postroek Bahchisaraya v konce HIIH – nachale HKH veka / E. E. Osmanov // Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Istoricheskie nauki. – 2015. – T. 1 (67), № 4. – S. 40-58. – EDN VQWSBL. Rezhim dostupa: https://www.elibrary.ru/download/elibrary\_25721939\_53112771.pdf* (data obrashcheniya: 09.04.2023).
23. Osmanov, E. E. *Remontno-restavracionnye raboty v arhitekturnom komplekse Hanskogo dvorca v 1944-1990 gg.* [Tekst] // E. E. Osmanov // *Uchenye zapiski Tavricheskogo nacional'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Seriya: Istoricheskie nauki. – 2013. – T. 26 (65), № 2. – S. 96-111. – EDN VBOTNL. Rezhim dostupa: https://elibrary.ru/download/elibrary\_25022513\_76443612.pdf* (data obrashcheniya: 09.04.2023).
24. *Sobranie sochinenij* [Tekst] / Usein Bodaninskij ; [perevody s krymskotatarskogo: E. E. Abibulaeva i dr. ; sostavitel' R. R. Eminov] ; Institut istorii im. SH. Mardzhani Akademii nauk Respubliki Tatarstan, Krymskij nauchnyj centr [i dr.]. – Kazan' ; Simferopol' : In-t istorii im. SH. Mardzhani AN RT, 2019-. - 25 sm. - (Nasledie Kryma = K"yrym mirasy).; ISBN 978-5-94981-303-4.
25. GKU RK «GARK», f. 27, op. 13, d. 8314. *Spisok sushchestvuyushchim mechetyam v Simferopol'skom uezde Tavricheskoy gubernii. Sostavlenn 11 aprelya 1889 g po gorodu Bahchisarayu, 268 s.*

26. CHElebi, E. Kniga puteshestviya. Krym i sopredel'nye oblasti. (Izvlcheniya iz sochineniya tureckogo puteshestvennika XVII veka) / E. CHElebi; per. E. V. Bahrevskogo. – Simferopol': Dolya, 2008. – 272 s.

27. GKU RK «GARK», f. R-663, KrymCIK Krymskoj ASSR, 1921-1938 gg., op. 10, d. 1567. Vypiska iz protokola zasedaniya Prezidiuma KrymCIKa o likvidacii musul'manskoj mecheti «Osman-Kuyu» v g Bahchisarae v 1928 g., – 3 s.

28. Borisov, V. «Degradaciya: kak chinovniki «naupravlyalis'» gradostroitel'nym processom v Bahchisarae» [Elektronnyj resurs] // 11.09.2018. Rezhim dostupa: <https://novoross.info/krim/48342-degradaciya-kak-chinovniki-naupravlyalis-gradostroitel'nym-processom-v-bahchisarae-foto.html> (data obrashcheniya: 09.04.2023).

29. An-crimea.ru. Petrunin, E. «V Bahchisarae snosyat istoricheskoe zdanie» «Argumenty nedeli – Krym». [Elektronnyj resurs] // 12.10.2016. Rezhim dostupa: <https://an-crimea.ru/page/news/146276> (data obrashcheniya: 09.04.2023).

30. Ria.ru. RIA NOVOSTI «Prokuratura ustanovila prichinu poyavleniya treshchin na Hanskom dvorce v Krymu» [Elektronnyj resurs] // 07.04.2022 (obnovleno: 12:08 04.05.2022) Rezhim dostupa: <https://ria.ru/20220407/dvoretz-1782380550.html> (data obrashcheniya: 09.04.2023).

31. Rk.gov.ru Pravitel'stvo Respubliki Krym. Novosti. «Minkul't RK: Zavershenie rabot na ob"ekte kul'turnogo naslediya federal'nogo znacheniya «Hanskiy dvorec» zaplanirovano na 2023 god» [Elektronnyj resurs] // 15.12.2021. Rezhim dostupa: <https://rk.gov.ru/ru/article/show/14445> (data obrashcheniya: 09.04.2023).

## PROBLEMS OF PRESERVING THE ARCHITECTURAL AND URBAN HERITAGE OF BAKHCHISARAY

Yatskovskaya O.P.<sup>1</sup> Zhivitsa V.V.<sup>2</sup>

V.I. Vernadsky Crimean Federal University,

<sup>1</sup>Institute "Academy of Construction and Architecture"

181, Kievskaya street, Simferopol, Republic of Crimea, 295493

<sup>1</sup>olya9805@mail.ru, <sup>2</sup>vzhivisa@mail.ru

**Abstract.** The article conducted an analysis of existing literary theoretical works on the topic of research, as well as regulatory and legislative documentation in the field of preservation and modern use of cultural heritage objects. The existing state of objects of cultural heritage (monuments of architecture and urban planning) of Bakhchisaray is analyzed. The factors affecting the implementation of the task of preserving cultural heritage objects are considered. The problems of preserving the architectural and urban heritage of the city of Bakhchisaray are formulated.

**The subject of the study.** The current state of the monuments of architecture and urban planning of Bakhchisaray, as well as the analysis of the legislation in the field of preservation of cultural heritage.

**Materials and methods.** The solution of tasks set in the article was carried out on the basis of an empirical and theoretical research method using general scientific research methods. The material was Internet resources, literary sources, as well as the regulatory framework of the Russian Federation. Investigation studies (visual method) and photofixation of objects of cultural heritage in Bakhchisarai were carried out.

**Results:** measures to protect monuments from destruction can be divided into two types: firstly, protection from human impact and, secondly, monitoring of natural destruction, since natural and anthropogenic factors are the main causes of destruction of urban planning and architecture.

**Conclusions:** Based on the analysis of literary and regulatory documents on the topic of the study, the conclusion was concluded: the protection of monuments, cultural heritage is an important task of government bodies, public organizations. During the analysis of the objects of the cultural heritage of Bakhchisaray, it was revealed that the city has an extremely rich historical and cultural architectural and urban-planning heritage. Each monument is unique and reflects the architectural, urban planning, aesthetic, cultural traditions of the time of its construction. The physical condition of more than half of the monuments of history and culture of the city of Bakhchisaray continues to deteriorate. In this regard, it is necessary to develop a project of security zones for all cultural heritage sites with subsequent stiff state regulation of compliance with the regime of use of these territories. The main objective of modern society is to ensure the preservation of cultural heritage objects so that they can be seen firsthand, and not to be studied by documents, photographs or memoirs of eyewitnesses.

**Key words:** architectural and urban development, cultural heritage, reconstruction, restoration, historical memory, historical and culture monuments, architectural and combination dominants.



## *Раздел 2. Строительство*

УДК 625.7/8: 658.51

### ОЦЕНКА ОБЪЕМОВ И ЗАТРАТ РЕСУРСОВ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОГО ЭТАПА УСТРОЙСТВА ОСНОВАНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В ЗАЛЕСЕННОЙ МЕСТНОСТИ

Журавлев<sup>1</sup> П. А., Марукян<sup>2</sup> А.М., Сборщиков<sup>3</sup> С.Б.

<sup>1,2,3</sup> НИУ МГСУ Московский государственный строительный университет».

Адрес: 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

E-mail: <sup>1</sup>pazh@yandex.ru, <sup>2</sup>A8874316@yandex.ru, <sup>3</sup>tous2004@mail.ru

**Аннотация.** Особенности природно-климатических условий и свойств территорий, определяют выработку проектных решений, обеспечивающих требуемую эксплуатационную надежность проектируемых автомобильных дорог. Обеспечение прочности и долговечности дорожной одежды в значительной степени достигается прочностью и неизменностью земляного полотна, качеством производства земляных работ, рациональным (обоснованным) размещением в основании земляного полотна грунтов, с требуемыми физико-механическими свойствами, минимизирующими процесс перехода в состояние неустойчивого равновесия, что является одной из причин деформации земляного полотна на слабом основании. Процесс принятия проектного решения, учитывающего удаление и замену (частичную или полную) слабого грунта, либо включение мероприятий, обеспечивающих устойчивость основания и слоев земляного полотна, осуществляется на основании технико-экономического обоснования и сравнения вариантов. Определяющими критериями принятия обоснованного технического решения являются количественные и стоимостные показатели выполняемых объемов подготовительных и земляных работ по устройству и укреплению основания земляного полотна. Принимая во внимание отсутствие нормативных показателей, учитывающих глубину разработки грунта при корчевке пней и требований по удалению корневых систем при прохождении трассы по залесенной местности, предложен подход, позволяющий оценить количественные показатели выполнения земляных работ и затрат ресурсов в рамках подготовительного этапа к строительству. Сущностью подхода состоит в организации, проведении и фиксации пробной корчевки корневых систем деревьев, произрастающих на типовом выбранном лесном участке (с документальным фото и видео подтверждением, оформлением актов освидетельствования и фиксации технических параметров), с целью выявления влияния (функциональной зависимости) видов произрастающих деревьев, пространственного распространения (залегания) основной массы удаляемых корневых систем, используемых средств механизации на глубину разработки (вскрыши) слоя грунта и определения объемов работ по выемке и засыпке замещаемого грунта в основании насыпи земляного полотна.

**Предмет исследования.** Проектные решения подготовительного этапа строительства линейного объекта, учитывающие особенности и специфику производства работ, оказывающие влияние на объем земляных работ по выемке и засыпке замещаемого грунта в основании земляного полотна. Рассматриваемые в исследовании проектные решения относятся к подготовительному этапу прокладки трассы линейного объекта по залесенной местности.

**Материалы и методы.** Исследовались условия и факторы, влияющие на процесс выработки и принятия проектных решений подготовительного этапа устройства земляного полотна автомобильных дорог, проходящих по залесенной местности. Метод исследования – структурный и функциональный анализ.

**Результаты:** Рассмотрены факторы и условия строительного производства, влияющие на определение количественных параметров производства земляных работ в составе проектных решений по устройству насыпи земляного полотна. Проанализированы свойства (условия) природной среды (залесенной местности), характеристики пространственного распространения корневых систем древесных пород, нормативные показатели снятия плодородного слоя в зависимости от типов почв, а также требования к организации работ по подготовке основания земляного полотна, включая расчистку от древесно-кустарниковой растительности.

**Выводы:** Сформулированы условия, принятия обоснованных технических решений проектной, рабочей и организационно-технологической документации, связанных с количественными показателями выполнения земляных работ по удалению корневых систем деревьев и замещению слабого грунта в основании земляного полотна при прохождении трассы автомобильной дороги через залесенную местность. Предложен подход, представляющий основание для корректировки технических решений подготовительного этапа устройства земляного полотна, включающий проведение пробной корчевки, произрастающих на ближайшем лесном участке деревьев с выявлением и фиксацией глубины распространения основных корневых систем.

**Ключевые слова:** организация строительного производства, подготовительные и земляные работы, основание земляного полотна автомобильной дороги, корневые системы деревьев, корчевка пней, замещение слабого грунта, организационно-технологическая документация.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В своей деятельности человечество оказывает негативное влияние на окружающую среду. В результате развития нашей цивилизации, роста технологии производства, требующего новых ресурсов для переработки и потребления, освоения новых территорий, воздействие человека на

природную территорию часто приводит к тому, что внешний вид планеты претерпевает значительные изменения: осушаются и пересыхают реки и озера, вырубаются леса, на месте равнин появляются новые города и заводы, обуславливающие потребность в создании новых транспортных путей и инженерных коммуникаций.

Негативное влияние выражается в уничтожении больших площадей лесов, посредством их вырубки

в целях развития транспортной отрасли, загрязнении территорий и атмосферы посредством использования химических удобрений, промышленных выбросов [1,2]. Техногенные катастрофы, возникающие в стремительно растущих городах и промышленных центрах, способны нанести необратимый вред не просто отдельным видам флоры и фауны, но и целым районам планеты.

Несмотря на то что, транспортные и инфраструктурные проекты занимают ключевое место в социально-экономическом развитии государства, особенно важно учитывать негативное воздействие инженерных сооружений на окружающие территории, выраженное, в том числе, в нарушении природных ландшафтов, путем отчуждения площадей (территорий), занимаемых непосредственно земляным полотном автомобильной дороги, мостами и путепроводами, объектами транспортной (дорожной) инфраструктуры, а также путем изменения режима стока поверхностных и грунтовых вод, и непосредственно рубки лесов [3].

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Согласно положениям Лесного кодекса Российской Федерации, подлежат рекультивации:

- земли, которые использовались для строительства, реконструкции и (или) эксплуатации объектов, не связанных с созданием лесной инфраструктуры;

- земли, на которых расположены леса, и которые подверглись загрязнению и иному негативному воздействию.

ГОСТ Р 57446-2017 регламентирует перечень земель и земельных участков, подлежащих рекультивации, в том числе нарушенных:

- при реорганизации производственных и загрязненных городских территорий и изменении их целевого назначения и разрешенного использования;

- земель сельскохозяйственного назначения или земельных участков в составе таких земель, предоставляемых на период осуществления строительства дорог, линий электропередачи, линий связи (в том числе линейно-кабельных сооружений), нефтепроводов, газопроводов и иных трубопроводов);

- при прокладке трубопроводов, проведении строительных, мелиоративных, лесозаготовительных, геологоразведочных, испытательных, эксплуатационных, проектно-изыскательских и иных работ, связанных с нарушением почвенного покрова.

В соответствии с Правилами проведения рекультивации и консервации земель, утвержденными постановлением Правительства РФ от 10 июня 2018 № 800, рекультивация земель, консервация земель осуществляются путем проведения технических и (или) биологических мероприятий. В составе технических мероприятий

осуществляется планировка, формирование откосов, снятие поверхностного слоя почвы, а также нанесение плодородного слоя почвы.

Автомобильная дорога, как линейное инженерное сооружение, постоянно находится под воздействием неблагоприятных условий эксплуатации, взаимодействует с различными типами грунтов естественного залегания, подвергается многократному воздействию динамических нагрузок, размыву потоком текущей воды и набуханию в результате его замерзания [4,5].

Конструкция дорожной одежды автомобильной дороги, уложенная на поверхность земляного полотна, включает в себя несколько слоев из различных материалов, обладая необходимой прочностью, шероховатостью, должна обеспечивать условия для безопасного движения автомобилей с расчетными скоростями вне зависимости от рельефа и состояния подстилающего грунта (рабочего слоя земляного полотна) [6,7].

При строительстве автомобильных дорог в неблагоприятных климатических и сложных грунтово-гидрологических условиях возникает проблема обеспечения требуемой эксплуатационной надежности.

Прочность и долговечность дорожной одежды в значительной степени зависят от прочности и неизменности земляного полотна, от качественного производства земляных работ, рационального размещения в теле основания дорожного покрытия грунтов, различных по своим физико-механическим свойствам, достижения необходимой плотности и влажности грунтов [8-10].

Гипотеза данного исследования заключается в усмотрении влияния условий природной среды (территорий) на формирование свойств и характеристик, определяющих эксплуатационную надежность и устойчивость основания дорожного полотна, и на количественные показатели объемов выполнения подготовительных и земляных работ, связанных с удалением корневых систем деревьев и замещением карьерным песком, укреплением слабого грунта в основании земляного полотна.

Принимая во внимание отсутствие нормативных показателей, учитывающих глубину разработки грунта при корчевке пней и удалении корневых систем при прохождении трассы по залесенной местности, актуальной задачей является выработка критериев, позволяющих подтвердить количественные показатели выполнения земляных работ в рамках подготовительного этапа к строительству.

Цель исследования – на основе нормативно-технических требований сформулировать условия (основания), определяющие выработку обоснованных технических решений, связанных с количественными показателями объемов подготовительных и земляных работ по удалению корневых систем деревьев и замещению слабого грунта в основании земляного полотна.

Задачи исследования:

- выявление условий природной среды (характеристик, свойств), а также нормативных требований к производству работ при устройстве основания земляного полотна;

- анализ требований к культуртехническим работам, в том числе, связанным с корчевкой пней при освоении залесенных земель;

- обзор пространственного распространения корневых систем деревьев, оказывающих влияние на глубину корчевки;

- определение условий, учитывающих организационно-технологические особенности производства работ, влияющих на количественные показатели объемов подготовительных и земляных работ, при устройстве основания насыпи линейного объекта.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

В ходе исследования осуществлена оценка условий, влияющих на процесс выработки и принятия технических решений по устройству автомобильных дорог, проходящих по залесенной местности, и их отражение в составе проектной документации. Проведен анализ свойств (условий и характеристик) природной среды (залесенной местности), а также требований к организации работ подготовительного этапа по расчистке территории от древесно-кустарниковой растительности при подготовке основания земляного полотна. Представлен анализ пространственной распространенности корневых систем древесных пород, а также нормативные показатели снятия плодородного слоя, в зависимости от типов почв, что влияет на объемы земляных работ по выемке и засыпке грунтов, укреплению основания дороги. Метод исследования – структурный и функциональный анализ.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ**

Качественно построенная автодорога должна соответствовать необходимым стандартам, так как это является залогом безопасности и комфорта не только водителей, но и пешеходов.

До этапа составления проектной документации проводятся геологические изыскания на местности, где предполагается прохождение автомобильной дороги. Особенно большое значение имеет исследование участков трассы, которые проходят по болотистым, залесенным территориям, а также оползневым участкам.

Специфика инженерно-геологических изысканий при строительстве автодорог определяется такими факторами, как:

- высота насыпи на том или ином участке дороги;
- вид используемого дорожного полотна;
- глубина выемки для обустройства дороги;
- категория автотрассы;
- свойства грунта на местности, по которой проходит или будет проходить линейный объект;

- природно-климатические условия местности;

- возможность использования грунтового материала, образующегося в ходе земляных работ.

Благодаря инженерно-геологическим исследованиям, устанавливаются особенности геоморфологического строения почвы, дорожно-климатическая зона и другие явления, влияющие впоследствии на ход строительства и эксплуатации автодороги.

На этапе проектирования, основываясь на анализе материалов предпроектной проработки [11,12], полученных результатах инженерных изысканий, выполняется трассировка автомобильной дороги, с поиском наиболее оптимального варианта прохождения, учитывая экономические аспекты, расходы на строительство и содержание дороги, а также тот факт, что значительная часть расходов приходится на выемку и засыпку грунтов, укрепление основания дороги.

Важная составная часть проектной документации - раздел, посвященный организации строительства. Для обеспечения своевременного ввода в действие строящихся объектов с наименьшими затратами и высоким качеством, организация дорожно-строительных работ должна соответствовать требованиям раздела «Проект организации строительства» (ПОС), которые затем детализируются в проекте производства работ (ППР). Соблюдение указанных требований, закреплено ГОСТ Р 58769-2019.

ПОС содержит предписания к работам, которые будет проводить подрядная организация, описывая меры по безопасности проведения работ, оптимальное использование строительной площадки, последовательность технологических процессов, возникающих в тех или иных ситуациях (особенностях) реализации строительного производства.

При прохождении трассы через залесенную местность, дорожную полосу и площадки, отведенные для карьеров, резервов, зданий и сооружений расчищают от леса, кустарника, пней, порубочных остатков, камней.

В состав этапа подготовки территории к строительству входит оформление порубочного билета и или разрешения на пересадку зеленых насаждений, при наличии дендроплана и акта обследования зеленых насаждений (перечетной ведомости зеленых насаждений). Согласно ОДМ 218.8.012-2019, порядок оформления актов обследования и процедуры выдачи разрешений на вырубку определяют органы местного самоуправления, в соответствии с административными регламентами. К примеру, Правилами создания, содержания и охраны зеленых насаждений и природных сообществ города Москвы, утвержденными постановлением Правительства Москвы от 10 сентября 2002 г. № 743-ПП, регламентируется составление перечетной ведомости зеленых насаждений (по форме приложения № 15), подлежащих сохранению, пересадке и вырубке на высоте 1,3 м от земли. К

обработке почвы на вырубленных участках приступают только после очистки от порубочных остатков и раскорчевки пней.

Следует акцентировать, что нормативно не закреплены показатели глубин залегания корневых систем деревьев. Как следствие, фактические глубины залегания корневых систем деревьев при расчистке земель от древесно-кустарниковой растительности, корчевке пней напрямую влияют на формирование объемов работ подготовительного этапа и расходов по выемке и засыпке грунтов, а также укреплению основания дороги.

По причине наиболее широкого распространения березовых древостоев на территории России, уделим внимание этой древесной породе. Обычно она участвует в качестве примеси к широколиственным или хвойным породам в самом разном сочетании в различных типах лесорастительных условий. Особенности формирования пространственного строения корневой системы березы, являются влажность, богатство почвы, средообразующее влияние (размеры почвенного пространства, в котором размещается корневая система). Как следствие, объемы работ, связанные с корчевкой пней и удалением корней, объемы восполняемого и уплотняемого грунта будут находиться в прямой зависимости от пространственного строения корневой системы березы.

Оценивая корневые системы древесных пород березы, ели, сосны и липы по показателю компактности в возрасте около 25-30 лет, у березы этот показатель наибольший и составляет 32,8—39,9 м/м<sup>3</sup>, в то время как у ели, сосны и липы - 14,2—22 м/м<sup>3</sup>, что свидетельствует об активном росте (развитии) корневой системы березы в указанные годы [13].

В условиях свежей дубравы на среднедернованных среднеподзолистых почвах в сосново-березовых насаждениях I класса бонитета, полнотой 0,8 корни березы имеют 10—15 хорошо развитых горизонтальных корней первого порядка, образующих в верхних горизонтах почвы густую сеть скелетных, полускелетных и всасывающих корней. В 27-летнем возрасте длина горизонтальных корней первого порядка достигает 8,05 м, диаметр 13,6 см. Стержневые корни развиты слабо, проникают в глубь почвы на 95 - 115 см. У большинства деревьев наблюдается большое количество хорошо развитых вертикальных ответвлений от горизонтальных корней, некоторые из них проникают в почву на большую глубину по сравнению со стержневыми корнями. Отмечается, что протяженность скелетных корней горизонтальной ориентации и их ответвлений зависит от группы роста дерева [14].

Считается, что на глубину проникновения корней влияет характер почвы [15, 16]. На легких песчаных почвах корни березы проникают на глубину до 2,5 м.

Если оценивать распределение массы корней березы в толще почвогрунта, то имеются следующие данные:

- по данным Старикова Ю.А. [16] корневая система березы (88,7%) в возрасте 18 - 20 лет располагается на глубине 0-40 см.

- по данным Рахтеенко И.Н. [18] основная масса корней березы (75%) содержится в слое почвы на глубине 50-60 см. Так же автором показано, что корневые системы разных пород при смешении проникают в почвогрунт глубже, чем в чистых культурах. В смешанных ельях лесов глубина корневой системы березы достигает 120 см.

Таким образом, на основании приведенных данных, пространственное распределение корневой системы березы характеризуется высокой напряженностью распространения, как в горизонтальном, так и вертикальном направлениях, и свидетельствует о глубине проникновения основной массы корневых систем в среднем до 60-80 см.

Учитывая широкое распространение, морфологию корневой системы древесных пород (главной лесообразующей породы), образующей лесной массив, требования технических норм СП 45.13330, СП 82.13330, регламентируют:

- расчистку территории валкой деревьев;
- удаление и выкорчевку деревьев, кустарника, пней и их корней;
- удаление обрывков корней из растительного слоя сразу же после уборки территории от пней и бревен;
- удаление травяной и болотной растительности;
- срезку почвенно-растительного слоя, заторфованного, илистого и другого;
- удаление верхнего разуплотненного (разжиженного), промерзшего слоя грунта;
- снятие плодородного слоя.

Аналогичные требования регламентирует СП 78.13330, в соответствии с которым подготовка основания земляного полотна включает снятие плодородного грунта на установленную проектом толщину со всей поверхности, занимаемой земляным полотном, резервами и другими сооружениями и сложение в валы вдоль границ дорожной полосы или в штабели в специально отведенных местах.

В соответствии с экологическими требованиями к производству земляных работ (СП 45.13330) необходимость снятия и мощность снимаемого плодородного слоя устанавливаются в ПОС с учетом уровня плодородия, природной зоны в соответствии с требованиями действующих стандартов, а также в особо сложных условиях (взрывание вблизи железных дорог, магистральных трубопроводов, мостов, тоннелей, линий электропередачи и связи, работ в условиях необходимости сохранения законтурного массива, а также взрывание при устройстве выемок на косогорах крутизной более 20° и на оползнеопасных склонах), при этом в проектной документации должны быть предусмотрены технические и

организационные решения по безопасности взрывов.

Также, запрещается использовать плодородный слой почвы для устройства перемычек, подсыпок и других постоянных и временных земляных сооружений.

Следует отметить, что определение плодородия почвы осуществляется в соответствии с требованиями ГОСТ 17.5.3.06-85, которые включают:

- определение показателей состава и свойств плодородного слоя почвы;
- использование крупномасштабных почвенных карт.

Вместе с тем, требования, регламентированные ГОСТ 17.5.3.06-85, определяют норму снятия плодородного слоя почвы при производстве земляных работ для дальнейшего использования его на малопродуктивных угодьях и рекультивируемых землях. Так диапазон глубин снятия плодородного слоя почвы для приведенных типов почв (бурые лесные, светло-серые лесные, серые лесные, темно-серые лесные) составляет от 20 до 80 см.

Таким образом, если в процессе проектирования и производства работ не были своевременно зафиксированы усредненные диаметры стволов (на высоте 1,3 м от земли) по видам произрастающих древостоев и соответствующие им глубины залегания скелетных корневых систем, то необходимо проведение экспериментальной корчевки деревьев, произрастающих на ближайшем лесном участке, с установлением следующих исходных данных:

- выбранных типовых лесных участков;
- видов произрастающих деревьев;
- усредненных диаметров стволов по видам деревьев, или без конкретизации видов по участку в целом,
- используемых для корчевки механизмов, соответствующих проектной документации.

На основании указанных исходных данных организуется проведение фото-видеозаписи (фиксации), оформление хронометража глубин снятия плодородного слоя почвы, при пробной корчевке корневых систем соответствующим механизмом и составление требуемых актов освидетельствования.

Требование СП 45.13330 к производству работ по устройству насыпей и обратных засыпок, регламентирует использование местных крупнообломочных, песчаных, глинистых грунтов, а также экологически чистых отходов промышленных производств, аналогичных по виду и составу грунтам природного происхождения, отвечающим соответствующим требованиям, приведенным в СП. В свою очередь, грунты в основании, не соответствующие в природном залегании требуемой проектной плотности и водонепроницаемости, следует заменить или доуплотнить с помощью уплотняющих средств.

Аналогичные требования регламентирует Пособие по проектированию земляного полотна

автомобильных дорог на слабых грунтах (далее – Пособие). Таким образом, в случае выявления (обнаружения) на основании инженерно-геологических изысканий данных о наличии (залегании) слабых грунтов в основании будущей насыпи (под плодородным слоем), то согласно указанного Пособия, в основу проектных решений по проектированию земляного полотна автомобильных дорог могут быть положены следующие принципы:

- удаление слабого грунта и замена его или применение эстакад;
- использование слабого грунта в качестве основания насыпи с применением мероприятий, обеспечивающих устойчивость основания и ускорение его осадки, а также прочность дорожной одежды, сооружаемой на таком земляном полотне.

Проектное решение, учитывающее удаление и замену (частичную или полную) слабого грунта, либо включение мероприятий, обеспечивающих устойчивость основания и ускорение его осадки, принимается в соответствии с технико-экономическим обоснованием и сравнением вариантов.

Учитывая вышеизложенное, при проектировании конструкций земляного полотна автомобильной дороги, на участках залесенной местности, должна учитываться информация о глубине (толщине) снятия (распространения) плодородного слоя почвы, глубине проникновения основной массы корневых систем древесной растительности, требующих удаления, а также зависящие от указанных условий объемы работ и затраты по разработке, транспортировке (с учетом разрыхления) плодородного слоя (выносу за пределы участка освоения), в том числе затраты по восполнению (в том числе засыпке подкорневых ям) изъятого плодородного слоя с заменой (с учетом показателей разрыхления) на грунты основания дорожной одежды, обеспечивающие требуемую несущую способность.

При проектировании автомобильных дорог необходимо учитывать региональные особенности территорий. На участках залегания слабых грунтов обоснование выбора конструкции земляного полотна, включая основание, базируется на:

- материалах подробного инженерно-геологического обследования грунтовой толщи на участках залегания слабых грунтов, включая данные по мощности отдельных слоев и расположению их в плане и по глубине, а также данные по расчетным значениям физико-механических характеристик грунтов этих слоев, положению уровня грунтовых вод и т.п.;

- исходных данных по проектируемой насыпи (высота и другие геометрические параметры, а также свойства грунтов, укладываемых в насыпь), расчетные условия движения и данные по особенностям условий эксплуатации;

- результатах инженерных расчетов, обосновывающих принятую конструкцию;

- указаниях по порядку сооружения запроектированной конструкции.

В этой связи, в целях обеспечения работ в установленные сроки с высоким качеством, гарантирующим надежность и устойчивость земляного полотна при эксплуатации дороги, выполняется (разрабатывается) организационно-технологическая документация.

ППР уточняет и детализирует решения, принятые в ПОС, изменяя только в том случае, если это ведет к сокращению сроков строительства и улучшению качества земляного полотна.

Особое внимание при составлении ППР уделяется, в том числе:

- уточнению распределения земляных масс на основе возможного изменения условий отвода земель;
- уточнению методов работ, выбору средств механизации и комплектования с учетом количества и структуры парка машин и механизмов строительной организации;
- детальному расчету потребности трудовых и материально-технических ресурсов;
- разработке детальных календарных планов использования машин и механизмов;
- привязке типовых технологических карт и разработке новых карт на сложные виды работ и на работы, выполняемые по новым методам или новыми машинами;
- составлению схем операционного контроля качества;
- разработке мероприятий по круглогодичному ведению земляных работ;
- разработке мероприятий по защите окружающей среды.

Согласно ГОСТ Р 58769-2019 разработка ППР для дорог с низкой интенсивностью движения осуществляется с учетом, в том числе:

- соблюдения правил по технике безопасности, требований по взрывной, взрывопожарной и пожарной безопасности в соответствии с действующими нормативно-правовыми документами для автомобильных дорог общего пользования;
- выполнения запроектированных мероприятий по охране природы и рекультивации сельскохозяйственных земель и лесных угодий, нарушенных при производстве строительных работ.

Учитывая, что земляные работы являются важной частью единого технологического комплекса работ по сооружению автомобильной дороги, замена слабого грунта (отказ от использования слабого грунта природного залегания), либо его использование, как следствие, способствующее в некоторых случаях снижению стоимости и трудоемкости выполнения работ, должна быть обоснована технико-экономическим анализом, в конкретных условиях.

Пояснительная записка к ППР должна содержать, в том числе, сведения о сосредоточенных резервах грунта (их местоположение), характеристики (в соответствии с

потребностью) основных дорожно-строительных материалов, изделий и конструкций, в том числе материалов, заготавливаемых в осенне-зимний период (ГОСТ Р 58769-2019).

При этом, нормы отвода земель, предназначенных для размещения карьеров (сосредоточенных резервов) грунта и предоставляемых во временное пользование, определяются расчетным путем при подготовке проектной документации с учетом требуемого объема грунта, возможной глубины разработки, толщины вскрыши, вероятного недобора грунта в карьере, а также с учетом проекта рекультивации (постановление Правительства Российской Федерации от 02.09.2009 № 717 «О нормах отвода земель для размещения автомобильных дорог и (или) объектов дорожного сервиса»).

В то же время, следует учитывать организационно-технологические особенности производства работ при разработке грунта в зимнее время: как при разработке грунта в сосредоточенных резервах (с выделением (при необходимости) объемов сосредоточенных работ и приведением способов их производства), так и при производстве дорожно-строительных работ при подготовке к устройству насыпи или выемки [19-22]. Из общего объема дорожно-строительных работ выделяют работы, подлежащие выполнению в зимнее время, и приводят специальные указания по их производству.

Глубина промерзания грунта зависит от многочисленных факторов и их сочетаний: выпадения и толщины снежного покрова, срока наступления и устойчивости сильных морозов, влажности грунта, температуры воздуха, действия ветра, характера поверхностного покрова грунта и др.

Исходя из того, что разработка мерзлого грунта экскаваторами возможна при небольшой глубине промерзания (от 10 до 40 см в зависимости от объема ковша экскаватора), для увеличения производительности экскаватора применяют следующие способы (мероприятия):

- оснащение сменными ковшами активного действия, с использованием ударных блоков (пневмомолоты-зубья);
- проходку траншей роторными экскаваторами на глубину 0,7-0,8 м;
- предварительное рыхление, а также комплекс мероприятий по оттаиванию мерзлого грунта (отогреванию электричеством с применением электродов);
- мероприятия по предохранению грунта от промерзания:
  - покрытие поверхности грунта теплоизолирующими материалами (при значительных площадях - создание на поверхности снегового покрова; обвалованием с применением дешевых местных утеплителей (торф, сухой мох, листья, опилки);

- химический способ обработки с использованием хлористого натрия при разработке песчаных и глинистых грунтов.

Таким образом, при замене слабых грунтов в основании земляного полотна требования к расчистке полосы отвода устанавливаются решениями проектной, рабочей и организационно-технологической документации с учётом метода их замены и типов применяемых машин, включая обеспечение мест отвала вынутого грунта и способа его вывозки.

## ВЫВОДЫ

Определяющими условиями (основаниями) принятия обоснованных технических решений, связанных с количественными показателями объемов подготовительных и земляных работ по устройству основания земляного полотна, являются: тип почв разновидности древостоев, глубина пространственного распространения основных корневых систем деревьев, подлежащих корчевке, организационно-технологические условия производства работ.

Учитывая, что технические решения, формируемые проектной и рабочей документацией, детализируются, дополняются и корректируются в составе организационно-технологической документацией с учетом фактических условий производства, специфики и видов выполняемых работ, как следствие, представленный в исследовании подход, позволяет в случае наличия существенных расхождений объемов земляных работ по устройству основания земляного полотна, включая объемы по корчевке и замене слабых грунтов, обосновать потребность в корректировке объемов выполненных работ на основании соответственно оформленной организационно-технологической документации.

Сущностью подхода состоит в проведении пробной корчевки корневых систем деревьев, произрастающих на типовом выбранном лесном участке (с документальным фото и видео подтверждением, оформлением актов освидетельствования и фиксации технических параметров), с целью выявления влияния (функциональной зависимости) видов произрастающих деревьев, пространственного распространения (залегания) основной массы удаляемых корневых систем, используемых средств механизации на глубину разработки (вскрыши) слоя грунта и объемы работ по выемке и засыпке замещаемого грунта в основании насыпи земляного полотна.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Олейничева Е.В., Зиновьева И.С. Антропогенное воздействие на леса // Успехи современного естествознания. 2012. № 4. - С. 191-193.
2. Ковыршина Е.И. Вырубка лесов вследствие незаконного перевода земель лесного фонда в земли иных категорий // Проблемы экономики и юридической практики. 2017. №1. - С. 125-128.
3. Москвина М.В. Оценка ущерба природной среде на примере строительства автомобильной дороги // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2018. №3. - С. 89-91.
4. Корпачев В.П., Пережилин А.И., Андрияс А.А. Использование лесных ресурсов в России // Хвойные бореальной зоны. 2016. №1-2 Вып. 34. - С. 56-60.
5. Моттаева А. Б. Планирование и моделирование региональной транспортной инфраструктуры // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика. 2020. № 3. - С. 101-108.
6. Косов М.Е. Государственная поддержка транспорта и дорожного хозяйства, повышение их эффективности // Вестник экономической безопасности. 2019, №4. - С. 295-304.
7. Вишневецкий А.В., Стетюха В.А. Деформации дорожного полотна на структурно-неустойчивых грунтах // Вестник Забайкальского государственного университета. 2018. vol. 24. № 10. - С. 411.
8. Азаров В.Н., Побегайлов О.А., Бенайша Ф.А., Германова К.В. Новые организационно-технологические решения при строительстве периферийных дорог // Вестник Евразийской науки, 2019 №3, <https://esj.today/PDF/37SAVN319.pdf> (доступ свободный).
9. Афиногенов О.П., Афиногенов А.О., Серякова А.А. Влияние степени уплотнения грунтов на величину их модуля упругости // Вестник КузГТУ. 2014. №3 (103). - С. 110-114.
10. Воробьев В. С., Пак Е. Л. Влияние физико-механических характеристик грунта земляного полотна на образование деформаций дорожной одежды // Вестник ТГАСУ. 2017. № 1. - С. 190-198.
11. Журавлев П.А., Марукян А.М. Особенности предпроектных проработок в инвестиционно-строительной деятельности (Часть 1) // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал. Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО «АГАСУ». 2021. № 3 (37). - С. 10-16.
12. Журавлев П.А., Марукян А.М. Особенности предпроектных проработок в инвестиционно-строительной деятельности (Часть 2) // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал. Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО «АГАСУ». 2022. № 1 (39). - С. 47-52.

13. Подольский В. П., Глагольев А. А., Нгуен Фьонг Нгок. Разработка мероприятий для обеспечения климатической устойчивости автомобильных дорог на слабых основаниях // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 4. - С. 46-52.

14. Савельева Л.С. Срастание корневых систем древесных пород. – М: Лесная промышленность. 1969. - 72 с.

15. Калинин М.И. Корневедение. - М: Экология. 1991. - 173 с.

16. Mauer, O. The role of root system in silver birch (*Betula pendula* Roth) dieback in the air-polluted area of Krusne hory Mts. / O. Mauer, E. Palatova // Journal of forest science/ - 2033. - № 49 (5). - P. 191-199., 132 Polomski, J. Root systems / J. Polomski, N. Kuhn. - Bern: Paul Haupt AG, 1998. - 290 p.

17. Стариков Ю.А. Особенности роста корневых систем некоторых древесных пород в питомниках // Лесное хозяйство. - № 12. - С. 28-30.

18. Рахтеенко И.Н., Якушев Б.И., Мартинович Б.С. Корневое питание растений в фитоценозах. - Минск: Наука и техника, 1971. – 250 с.

19. Сборщиков С. Б., Журавлев П. А. Организация и технология ремонтно-строительных работ // Общество с ограниченной ответственностью "Стройинформиздат". Москва. 2021. – 225 с.

20. Сборщиков С. Б., Ермолаев Е. Е., Журавлев П. А. Технология строительных процессов: Учебно-методическое пособие. НИУ МГСУ. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Стройинформиздат". 2021. - 242 с.

21. Ескалиев М.Ж., Мухаметзянов З.Р. Исследования современного состояния вопроса разработки организационно-технологических решений при строительстве объектов // Экономика строительства. 2022. № 2. - С. 52-60.

22. Кабанов А.В. Совершенствование системы организационно-технологического проектирования при строительстве крупных транспортных объектов // Вестник гражданских инженеров. 2007. № 4(13). - С. 49-54.

5. Mottaeva A.B. Planning and modelling of regional transport infrastructure. In: Bulletin of Moscow Region State University. Series: Economics. 2020. No. 3. Pp. 101-108. (in Russian).

6. Kosov M.E. State support of transport and road facilities, increasing their efficiency // Bulletin of Economic Security. 2019. No. 4. Pp. 295-304. (in Russian).

7. Vishnevsky A., Stetjuha V. Deformation of roadbed on structurally unstable soils // Transbaikal State University Journal, 2018, vol. 24. No. 10. Pp. 411. (in Russian).

8. Azarov V.N., Pobegyalov O.A., Benaicha F.A., Germanova K.V. (2019). New organizational and technological solutions in the construction of peripheral roads. The Eurasian Scientific Journal, [online] 3(11). Available at: <https://esj.today/PDF/37SAVN319.pdf> (in Russian).

9. Afinogenov O. P., Afinogenov A. O., Seryakova A. A. Influence of the degree of soil compaction on the value of their modulus of elasticity // Bulletin of KuzSTU. 2014. No. 3 (103). Pp. 110-114. (in Russian).

10. Vorobiyov V. S., Pak E. L. Vestnik TGASU (Bulletin of the Tomsk State Architecture and Construction University), 2017, No.1. Pp. 190-198. (in Russian).

11. Zhuravlev P.A., Marukyan A.M. Features of pre-project studies in investment and construction activities (Part 1) // Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Sea: scientific and technical journal. Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering. Astrakhan: GAOU AO "AGASU". 2021. № 3 (37). pp. 10-16. (In Russ.).

12. Zhuravlev P.A., Marukyan A.M. Features of pre-project studies in investment and construction activities (Part 2) // Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Sea: scientific and technical journal. Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering. Astrakhan: GAOU AO "AGASU". 2022. № 1 (39). pp. 47-52. (In Russ.).

13. Podolsky V. P., Glagoliev A. A., Nguen Fyong Ngok. Sovremennye naukoemkie tehnologii (Modern knowledge-intensive technologies). 2016. No. 4. Pp. 46-52. (in Russian).

14. Savelyeva L.S. Fusion of root systems of tree species. – М: Forest industry. 1969. 72 p.

15. Kalinin M.I. Kornevedenie. - М: Ecology. 1991. 173 p.

16. Mauer, O. The role of rot system in silver birch (*Betula pendula* Roth) dieback in the air-polluted area of Krusne hory Mts. / O. Mauer, E. Palatova // Journal of forest science/ - 2033. - № 49 (5). - P. 191-199., 132 Polomski, J. Root systems / J. Polomski, N. Kuhn. - Bern: Paul Haupt AG, 1998. - 290 p.

17. Starikov Yu.A. Features of the growth of root systems of some tree species in nurseries // Forestry. No. 12. - pp. 28-30. (in Russian).

18. Rakhteenko I.N., Yakushev B.I., Martinovich B.S. Root nutrition of plants in phytocenoses. - Minsk: Science and Technology 1971. – 250 p. (in Russian).

## REFERENCES

1. Alenicheva E.V., Zinovieva I.S. Anthropogenic impact on forests // Successes of modern natural science. 2012. No. 4. Pp. 191-193. (in Russian).

2. Kovyreshina E.I. Deforestation due to illegal transfer of forest fund lands to lands of other categories // Problems of economics and legal practice. 2017. No. 1. Pp. 125-128. (in Russian).

3. Moskvina M.V. Assessment of damage to the natural environment by the example of the construction of a highway // International Journal of Applied Sciences and Technologies "Integral". 2018. No. 3. Pp. 89-91. (in Russian).

4. Karpachev V.P., Perevilin A.I., Andrias A.A. The use of forest resources in Russia // Coniferous boreal zones. 2016. No. 1-2 Issue 34. Pp. 56-60. (in Russian).

19. Sborshchikov S. B., Zhuravlev P. A. Organization and technology of repair and construction works // Limited Liability Company "Stroyinformizdat". Moscow. 2021. – 225 p. (in Russian).

20. Sborshchikov S. B., Ermolaev E.E., Zhuravlev P. A. Technology of construction processes: Educational and methodical manual. Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). – Moscow: Stroyinformizdat Limited Liability Company. 2021. - 242 p. (in Russian).

21. Eskaliev M.Zh., Mukhametzyanov Z.R. Studies of the current state of the issue of the development of organizational and technological solutions in the construction of facilities // Economics of construction. 2022. No. 2. Pp. 52-60. (in Russian).

22. Kabanov A.V. Improving the system of organizational and technological design in the construction of large transport facilities // Bulletin of Civil Engineers. 2007. No. 4(13). Pp. 49-54. (in Russian).

## ASSESSMENT OF THE VOLUME AND COST OF RESOURCES OF THE PREPARATORY STAGE OF THE FOUNDATION OF THE ROADBED IN THE FORESTED AREA

Zhuravlev<sup>1</sup> P. A., Marukyan<sup>2</sup> A.M., Sobshchikov<sup>3</sup> S.B.

<sup>1,2,3</sup>Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);  
26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation.

E-mail: <sup>1</sup>pazh@yandex.ru, <sup>2</sup>A8874316@yandex.ru, <sup>3</sup>tous2004@mail.ru

**Abstract.** The peculiarities of natural and climatic conditions and properties of territories determine the development of design solutions that ensure the required operational reliability of the projected highways. Ensuring the strength and durability of the pavement is largely achieved by the strength and immutability of the roadbed, the quality of excavation, rational (reasonable) placement of soils in the base of the roadbed, with the required physical and mechanical properties that minimize the process of transition to a state of unstable equilibrium, which is one of the reasons for the deformation of the roadbed on a weak foundation. The process of making a design decision that takes into account the removal and replacement (partial or complete) of weak soil, or the inclusion of measures to ensure the stability of the foundation and the layers of the roadbed, is carried out on the basis of a feasibility study and comparison of options. The determining criteria for making a sound technical decision are the quantitative and cost indicators of the volumes of preparatory and excavation work performed on the construction and strengthening of the foundation of the roadbed. Taking into account the absence of normative indicators that take into account the depth of soil development during the uprooting of stumps and the requirements for removing root systems during the passage of the route through forested terrain, an approach is proposed that allows us to assess the quantitative indicators of excavation and resource costs in the preparatory stage for construction. The essence of the approach consists in organizing, conducting and fixing trial uprooting of root systems of trees growing on a typical selected forest plot (with documentary photo and video confirmation, registration of inspection certificates and fixing of technical parameters), in order to identify the influence (functional dependence) of the types of growing trees, spatial distribution (occurrence) of the bulk of the root systems being removed, the means of mechanization used for the depth of development (stripping) of the soil layer and determining the scope of work on excavation and filling of the replaced soil at the base of the embankment of the roadbed.

**Subject of research.** The subject of research is the design solutions of the preparatory stage of the construction of a linear object, taking into account the features and specifics of the work, affecting the amount of excavation work on excavation and filling of the replaced soil at the base of the roadbed. The design solutions considered in the study relate to the preparatory stage of laying the route of a linear object in a wooded area.

**Materials and methods.** The conditions and factors influencing the process of developing and making design decisions of the preparatory stage of the construction of the roadbed of highways passing through forested terrain were studied. The research method is structural and functional analysis.

**Results:** The factors and conditions of construction production affecting the determination of quantitative parameters of the production of earthworks as part of design solutions for the construction of the embankment of the roadbed are considered. The properties (conditions) of the natural environment (forested area), the characteristics of the spatial distribution of the root systems of tree species, the normative indicators of the removal of the fertile layer depending on the types of soils, as well as the requirements for the organization of work on the preparation of the foundation of the roadbed, including clearing of tree and shrub vegetation, are analyzed.

**Conclusions:** The conditions are formulated for the adoption of sound technical decisions of design, working and organizational and technological documentation related to the quantitative indicators of excavation work to remove the root systems of trees and replace weak soil at the base of the roadbed during the passage of the highway route through the forested area. An approach is proposed that provides a basis for adjusting the technical solutions of the preparatory stage of the construction of the roadbed, including conducting a trial uprooting of trees growing in the nearest forest area with the identification and fixation of the depth of distribution of the main root systems.

**Key words:** organization of construction production, preparatory and excavation works, foundation of the roadbed, root systems of trees, stump uprooting, replacement of weak soil, organizational and technological documentation.



УДК 624

## ИСПЫТАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО БЕТОННОГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОЙ ДОБАВКИ И УГОЛЬНОГО ФИЛЬТРА

Коряковцева<sup>1</sup> Т.А., Заборова<sup>1</sup> Д.Д.

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ);  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
tamusorina@mail.ru, zaborova-dasha@mail.ru

**Аннотация.** Для создания комфортного микроклимата в помещениях необходимо соблюдать требования по тепловой защите здания, что требует подбора материалов ограждающих конструкций. С этой целью используются различные добавки в бетон: измельченный инвазивный сорняк (борщевик) и отработанные в процессах водоочистки угольные сорбционно-фильтрующие материалы. Это позволяет создать экологический строительный материал, уменьшить количества расходуемого цемента.

**Предмет исследования:** бетонный композит с добавками, обладающий повышенными теплотехническими и механическими свойствами.

**Материалы и методы:** объект исследования - Разработаны семь серий различных сочетаний добавок, для которых на установках Instron 5965 и ПИТ 2.1 экспериментально определяются механические и теплотехнические характеристики. Произведена оценка пористой структуры образцов с помощью микроскопического исследования.

**Результаты:** Улучшена теплопроводность нового материала на 12,3%. Из всех изученных образцов наименьшую потерю прочности (12,8%) имел образец с содержанием активированного угля 1%. Положительным эффектом от использования активированного угля является создание пластичного материала, который при достижении максимальной нагрузки не разрушается и продолжает держать форму. Микроскопические исследования образцов позволили обнаружить увеличение размера пор и их количество с увеличением содержания угля в образцах.

**Выводы:** Созданный бетонный композит может быть использован в жилом и гражданском строительстве зданий и сооружений, поскольку в сухом виде борщевик не опасен, не выделяет токсичных веществ, а добавки измельченных отработанных сорбционных материалов на основе активированных углей увеличивают вязкость бетонной смеси. Использование борщевика в бетонных изделиях будет способствовать дополнительному коммерческому интересу в борьбе с инвазивным растением, которая ведется в Санкт-Петербурге и Ленинградской области. Утилизация отработанных угольных сорбционных материалов в составе бетонных композитов является важным звеном в решении проблемы переработки отходов и улучшении экологической обстановки региона.

**Ключевые слова:** строительные материалы, добавки в бетон, трехточечный изгиб, теплопроводность, борщевик, отработанные угольные сорбционные материалы

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность рассматриваемой проблемы.** Оценка жизненного цикла зданий показывает, что 70–80% всех выбросов CO<sub>2</sub> приходится именно на стадию производства материалов, поэтому, подбирая строительный материал, важно учитывать не только прочностные и теплофизические свойства, но и воздействие материала на окружающую среду [1-2]. Учет влияния вредного воздействия составляющих материала на окружающую среду может привести к уменьшению углеродного следа, сокращению отходов при производстве материала. Для этого необходимо, чтобы каждый отечественный производитель строительных материалов предоставлял доступ к экологической декларации продукта. Это позволяет оценить оценку жизненного цикла материала [3]. Для создания комфортного микроклимата в помещении необходимо обеспечить тепловую защиту здания. Для этого проводится теплотехнический расчет [4-7] на основании которого выбираются соответствующие энергоэффективные материалы и конструкции [8-10], а также выбор оптимального с точки зрения энергосбережения режима эксплуатации здания [11]. Одной из составляющих правильного решения проблемы являются представления о том, как происходит тепломассоперенос в различных

конструкциях зданий [12]. С целью оптимизации теплофизических и механических свойств бетонных композитов в настоящее время изучаются применения различных добавок. При производстве новых энергоэффективных строительных материалов следует шире использовать вторичное сырье, рассматривая его не как отходы производства, а как ценное сырье [13-17].

Растительные материалы или продукты на их основе издавна используются в строительстве. Инвазивный сорняк (борщевик Сосновского), занесенный на территорию Ленинградской области в 1960-1970х гг., сегодня представляет реальную угрозу естественной растительной флоре и фауне, а также здоровью людей. Борьба с ним включает его утилизацию и одним из подходов в этой области является добавление щепы борщевика в бетонную смесь. Меньшее количество цемента в бетонном композите может привести к уменьшению углеродного следа, не понижая прочностные характеристики материала.

Древесный активированный уголь, является продуктом переработки растительного сырья и обладает рядом полезных свойств: высокая пористость, сорбционная активность, пластифицирующая способность. Свежий древесный активированный уголь довольно дорог и используется для очистки пищевых продуктов (питьевая вода, масла и т.д.), однако, отработанный уголь, особенно после очистки сточных вод, в

больших количествах доступен для использования его в строительных материалах. Древесный активированный уголь после очистки поверхностных сточных вод является сравнительно малозагрязненным материалом, обладающим существенной остаточной сорбционной способностью, что позволяет использовать его не только в почвогрунтах [18], но и в строительных бетонных композитах.

Фильтры очистки поверхностного стока ФОПС (запатентованная марка) предназначены для очистки поверхностных (талых и ливневых) вод с автодорог, селитебных территорий и территорий промышленных предприятий [19]. В отработанном виде они являются источником значительного количества активированного угля [20]. Технология применения этих фильтров совместно развивается компанией ООО «Аква-Венчур», ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» и ФГАОУ ВО «СПбГПУ Петра Великого» [21]. Фильтры очистки поверхностного стока ФОПС состоят из корзины для мусора и самого фильтра [22-24]. Содержание фильтра зависит от его назначения к применению. В отработанном виде фильтры являются источником большого количества активированного угля. Один фильтр ФОПС может содержать (в зависимости от модели) активированный уголь массой до 800 кг. Учитывая широкое применение фильтров ФОПС в России количество отработанного угля будет возрастать и проблема его утилизации становится крайне актуальной. В процессе работы была предпринята попытка создать бетонный композит с добавками на основе борщевика и отработанного активированного угля из фильтров ФОПС. Для этого были исследованы 3 состава бетонной смеси с разным процентным отношением в объемной доле угля к цементу в бетонном композите, из которых выбирали наиболее эффективный состав (1%, 2%, 3% угля от объемной доли цемента), также проводились сравнения полученных теплотехнических и механических свойств бетонных композитов. В статье [25] ранее были рассмотрены сферы использования активированного угля, также представлено исследование влияния его в бетоне на свойства и характеристики смеси. Был проведен расчет негативного влияния на окружающую среду нового бетонного композита с растительной добавкой и разным процентным соотношением активированного угля. Таким образом, используя растительные добавки, можно уменьшить количество цемента в композите, что снизит

углеродный след используемых строительных материалов.

**Цель работы** – создать бетонный композит с растительно-угольными добавками, обладающий повышенными теплотехническими и механическими свойствами.

#### **Задачи исследования:**

1. Создание бетонного композита на основе вторичного сырья: с растительной добавкой (сухой борщевик) и отработанного сорбционного материала на основе активированного угля из фильтра ФОПС (запатентованная марка).

2. Изучение теплотехнических и механических свойств полученных бетонных композитов.

3. Изучение структурно-морфологических свойств полученных материалов.

**Научная новизна:** использование в качестве добавки к бетону вторичного сырья (сухой борщевик и отработанный сорбционный материал на основе активированного угля) для улучшения теплотехнических и механических свойств бетона, также уменьшение вредного воздействия на окружающую среду.

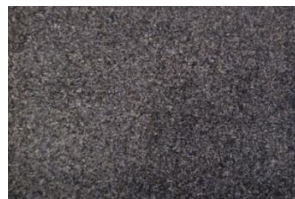
Использование сорняка и отходов позволяет создать дешевый, энергоэффективный и безопасный строительный материал, который может быть использован в жилом и гражданском строительстве зданий и сооружений. Преимуществами данного подхода является то, что в сухом виде борщевик не опасен и не выделяет токсичные вещества, а измельченный отработанный уголь увеличивает вязкость бетонной смеси. Предложенные композиты могут быть использованы заводами изготовителями бетонной и железобетонной продукции, а утилизация отработанного активированного угля фильтров ФОПС несомненно будет полезна для улучшения экологической обстановки.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Размер частиц исходной фракции отработанного активированного угля из фильтров ФОПС-МУ-0.58-1.8 [23] составлял 1-3 мм. Данный уголь был измельчен с помощью вибрационной конусной мельницы-дробилки ВКМД-6, производство ООО «Вибротехник», Россия. Фотографии угля до и после измельчения, представлены на рисунке 1.



А – до измельчения



Б- после измельчения

**Рис.1.** Внешний вид отработанного активированного угля до (а) и после (б) измельчения

**Fig.1.** Appearance of spent activated carbon before (a) and after (b) grinding

В вибрационной конусной мельнице-дробилке ВКМД-6 измельчение происходит за счет истирания - одновременной деформации сжатия и сдвига частиц материала. Основными составными частями дробилки конусной являются: основание, цилиндрический корпус, дробящий конус, чаша, ведомый и ведущий дебалансы и электродвигатель. Исходная крупность 10 мм, конечная крупность 0,1 - 1,5 мм. Диапазон регулировки зазора между конусами 1-5 мм. Принцип работы: дробимый материал загружается в воронку чаши, откуда поступает в зону дробления, образованную поверхностями наружной и внутренней броней. Частицы материала заклиниваются между бронями и подвергаются одновременно деформациям сжатия и сдвига. Брони образуют две зоны дробления:

клиновидную - для предварительного дробления и калибровочную - для доизмельчения. Измельченный материал попадает на направляющую в корпусе и за счет вибрации и силы тяжести разгружается через патрубок или в приемную емкость.

**Исходные данные для образцов.** Состав бетонной смеси для 1 литра представлен в таблице 1. В бетонный композит добавлялись: растительная добавка борщевика размером щепы 50x0,5x0,5 мм, объемная доля составляла 3%; добавка активированного угля размером частиц 0,25-1 мм, объемная доля составляла 1-3%. Серии образцов, которые были приготовлены и изучены в работе, представлены в таблице 2.

**Таблица 1.** Состав бетонного композита (контрольный образец)

**Table 1.** The composition of the concrete composite (control sample)

Объем смеси, л	Портландцемент М400, г	Кварцевый песок 0,63 мм, г	Пластификатор, г	Вода, мл
1	687	1253	7	353

**Таблица 2.** Обозначения созданных образцов

**Table 2.** Designations of the created samples

Условное обозначение	Название серии	Количество образцов
K1-K5	Контрольный образец	5
K1-K4-1%	Контрольный образец с углем 1%	4
K1-K4-б	Контрольный образец с борщевиком 3%	4
Уг1-Уг5-1%+б	Образец с углем 1% и борщевик 3%	5
Уг1-Уг5-2%+б	Образец с углем 2% борщевик 3%	5
Уг1-Уг5-3%+б	Образец с углем 3% борщевик 3%	5
K1-K3-ВО	Контрольные образцы с новым водоцементным отношением	3



**Рис.2.** Внешний вид разработанных образцов с условными обозначениями

**Fig.2.** Appearance of the developed samples with symbols

Внешний вид всех образцов с их условными обозначениями представлены на рисунке 2. Можно заметить, что образец, содержащий большее количество угля, выглядит темнее. В расчетах для измерения прочности использовалось среднее значение, полученное из трех измерений.

Испытания на трехточечный изгиб проводились в СПбПУ на базе Инженерно-строительного института на универсальной испытательной

установке Instron 5965 (США). Настольная электромеханическая двухколонная разрывная машина предназначена для проведения испытаний в среднем диапазоне нагрузок, предназначена для измерений силы и изменений линейных размеров образцов различных материалов, включая металлы, строительные, полимерные и текстильные материалы, изделия из дерева, стекла, керамики, на растяжение, сжатие, изгиб, трение, отслаивание,

раздиране, срез. Общий вид установки и нахождения образца в установке представлен на

рисунке 3. Расстояние между крайними опорами составляло 150 мм.



**Рис.3.** Расположение образца в испытательной установке Instron 5965  
**Fig.3.** Sample Location in the Instron 5965 Test Set

По результатам испытаний была определена величина предела прочности при изгибе как отношение максимального изгибающего момента при разрушении образца к осевому моменту сопротивления сечения при изгибе:

$$\sigma = \frac{M_{изг}^{max}}{W_z} \quad (1)$$

где  $M_{изг}^{max}$  – максимальный изгибающий момент, кН·м;  $W_z$  – осевой момент сопротивления, м<sup>3</sup> [26].

Рассчитывались изгибающий момент  $M_{из}$  и момент сопротивления сечения образца  $W_{из}$ , определялось изгибное напряжение  $\sigma$  для каждого образца. Расчет изгибного напряжения для каждой серии образцов приведены в таблице 3. Для дальнейшей работы будет сравниваться среднее значение изгибного напряжения.

Для определения теплопроводности использовался прибор для измерения коэффициента теплопроводности ПИТ-2.1. Сущность метода заключается в создании стационарного теплового потока, проходящего через плоский образец определенной толщины и направленного

перпендикулярно к лицевым (наибольшим) граням образца, измерении мощности, необходимой для создания этого теплового потока, температуры противоположных лицевых граней и толщины образца. Установка ПИТ-2.1 состоит из двух холодильников (верхнего и нижнего), нижнего нагревателя (холодной пластины), охранного нагревателя, охранного кольца, измерительного нагревателя, прецизионного измерителя/регулятора температуры. Холодильники предназначены для обеспечения работы ПИТ-2.1 при средних температурах образцов ниже температуры окружающей среды [27-29].

В установку помещался образец размерами 250x250x30 мм, задавалась средняя температура и выставлялась толщина образца и спустя время устанавливалась теплопроводность бетонного композита. С помощью компьютерной программы можно получить график измерения теплопроводности образца. На рисунке 4 представлен общий вид установки ПИТ-2.1 и образца в ней.



А) Общий вид установки с образцом



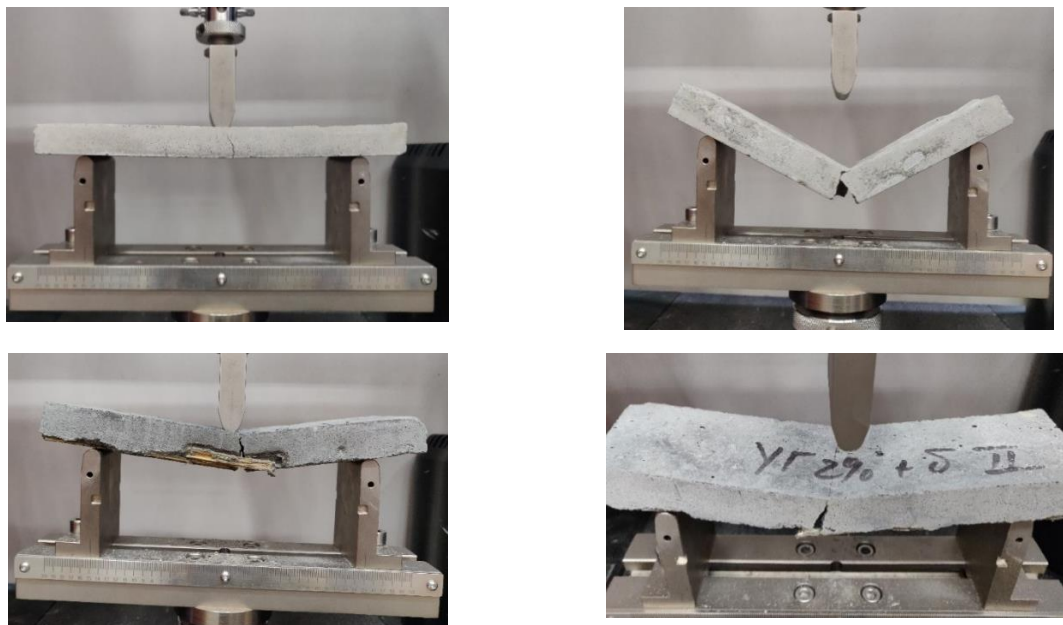
Б) Образец 250x250x30мм

**Рис.4.** Внешний вид установки и образца  
**Fig.4.** Appearance of the installation and sample

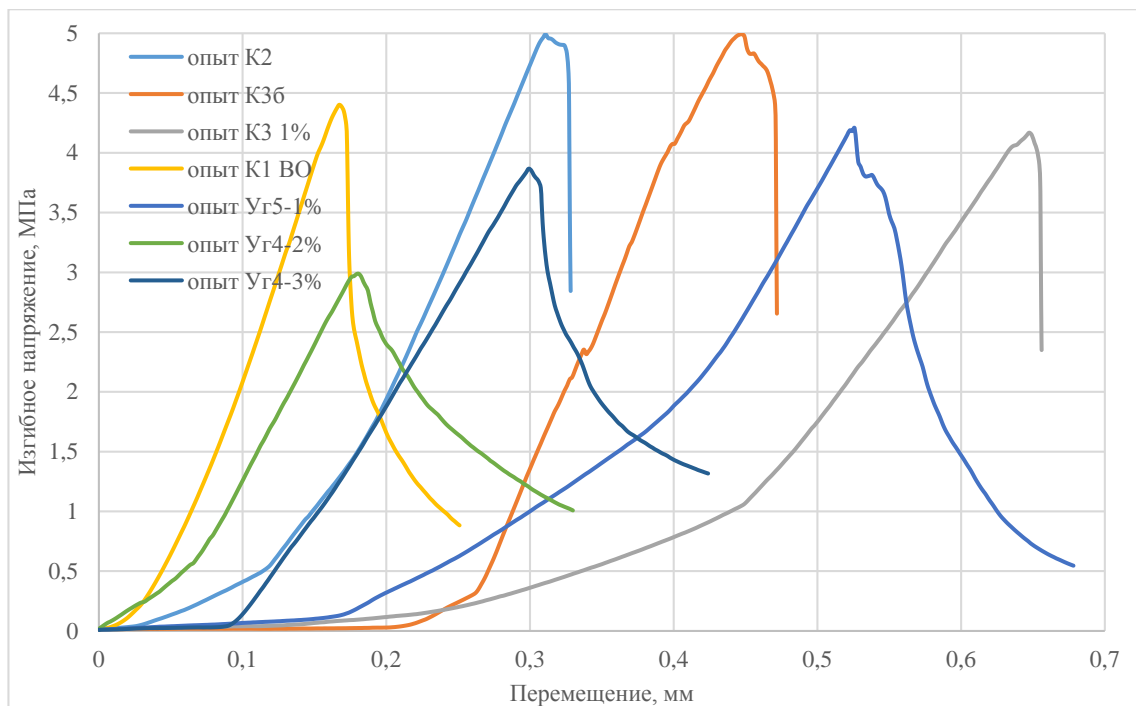
### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Для каждой серии образцов проводились опыты на трехточечный изгиб. Образование трещин в образцах и их разрушение при разной нагрузке представлены на рисунке 5.

Для сравнения из каждой серии опытов были выбраны графики (стрелы) с близким к среднему значению изгибного напряжения, представленные на рисунке 6.



**Рис.5.** Внешний вид образцов после трехточечного изгиба  
**Fig.5.** Appearance of samples after three-point bending



**Рис.6.** Сравнение усредненных значений предельного изгибного напряжения из каждой серии опытов  
**Fig.6.** Comparison of the average values of the ultimate bending stress from each series of experiments

Так как уголь обладает адсорбирующими свойствами, было создано два контрольных образца, с разным водоцементным отношением (опыт К2 и опыт К1 ВО). Если производить сравнение относительно второго (К1 ВО), установлено, что образец, содержащий только борщевик, обладает большей прочностью на изгиб (прирост на 8,7%), в то время как контрольный образец с углем потерял свою прочность на 12%. В таблице 3 представлен

расчет механических характеристик для каждой серии образцов.

При большем содержании угля, в бетоне образовались поры, которые можно наблюдать на рисунке 7. Механизм их образования несомненно интересен как в теоретическом, так и в практическом плане.

**Таблица 3.** Расчет механических характеристик образцов  
**Table 3.** Calculation of the mechanical characteristics of the samples

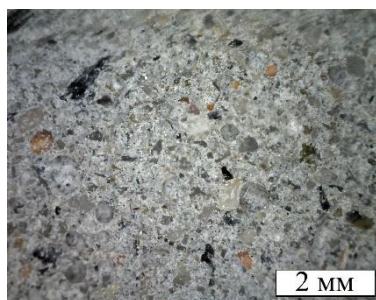
		длина, м	h, м	b, м	сила F, Н	M, Н·м	Wz	σ, МПа	σ, МПа среднее
контрольные образцы (К1-К5)	1	0,15	0,016	0,057	333,75	12,516	2,34987E-06	5,326	4,957
	2	0,15	0,017	0,057	386,69	14,501	2,90474E-06	4,992	
	3	0,15	0,016	0,057	300,94	11,285	2,50178E-06	4,511	
	4	0,15	0,014	0,057	335,16	12,569	1,98218E-06	6,341	
	5	0,15	0,018	0,066	342,32	12,837	3,55081E-06	3,615	
контрольные только уголь (К1-К4-1%)	1	0,15	0,019	0,057	346,95	13,011	3,51816E-06	3,698	4,042
	2	0,15	0,021	0,057	469,75	17,616	4,02332E-06	4,378	
	3	0,15	0,019	0,057	361,8	13,568	3,2548E-06	4,168	
	4	0,15	0,023	0,057	526,56	19,746	5,0349E-06	3,922	
контрольные только борщевик (К1-К4-б)	1	0,15	0,019	0,057	426,09	15,978	3,41623E-06	4,677	5,007
	2	0,15	0,021	0,057	525,76	19,716	4,26274E-06	4,625	
	3	0,15	0,017	0,057	346,26	12,985	2,60078E-06	4,993	
	4	0,15	0,016	0,057	354,8	13,305	2,32111E-06	5,732	
образец борщевик и уголь 1% (УГ1-УГ5-1%+б)	1	0,15	0,018	0,057	267,72	10,040	3,21914E-06	3,119	4,013
	2	0,15	0,019	0,057	429,77	16,116	3,57356E-06	4,510	
	3	0,15	0,018	0,057	223,53	8,382	3,09917E-06	2,705	
	4	0,15	0,021	0,057	592,5	22,219	4,02308E-06	5,523	
	5	0,15	0,019	0,057	375,31	14,074	3,34578E-06	4,207	
образец борщевик и уголь 2% (УГ1-УГ5-2%+б)	1	0,15	0,019	0,057	235,31	8,824	3,36652E-06	2,621	3,007
	2	0,15	0,020	0,057	284,25	10,659	3,7764E-06	2,823	
	3	0,15	0,019	0,057	288,15	10,806	3,29661E-06	3,278	
	4	0,15	0,018	0,057	235,85	8,844	2,96044E-06	2,988	
	5	0,15	0,021	0,057	359,21	13,470	4,04934E-06	3,327	
образец борщевик и уголь 3% (УГ1-УГ5-3%+б)	1	0,15	0,018	0,057	356,69	13,376	3,158E-06	4,236	3,680
	2	0,15	0,021	0,057	369,88	13,871	4,27045E-06	3,248	
	3	0,15	0,018	0,057	254,71	9,552	3,15745E-06	3,025	
	4	0,15	0,021	0,057	415,32	15,575	4,02692E-06	3,868	
	5	0,15	0,022	0,057	475,19	17,820	4,42664E-06	4,026	
контрольные новое ВО (К1-К3-ВО)	1	0,15	0,018	0,077	505,24	18,947	4,30436E-06	4,402	4,613
	2	0,15	0,017	0,077	448,36	16,814	3,79828E-06	4,427	
	3	0,15	0,020	0,077	681,68	25,563	5,10295E-06	5,009	



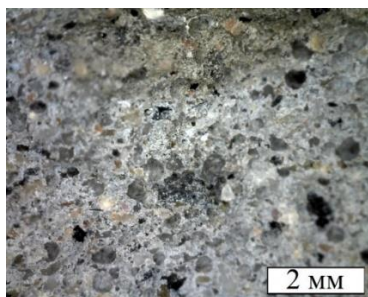
**Рис.7.** Профиль образца с 3% содержанием угля  
**Fig.7.** Sample profile with 3% carbon content

**Микроскопическое исследование образцов.**  
 Для исследования использовался ручной микроскоп фирмы Dino-lite, позволяющий проводить измерения с 10–250 кратным увеличением. На рисунке 8 при 50 кратном увеличении можно увидеть внутреннюю поверхность образцов, содержащие уголь и/или борщевик. Из полученных результатов можно сделать вывод, что чем больше

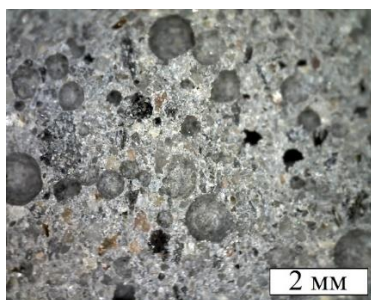
содержание угля в образцах, тем больше по размеру поры в бетоне и их количество. Это может привести к теплоизоляционному бетону. Из-за этого все осадки, которые образуются на борщевике, занимают полость пор. В результате микроскопических исследований лучше использовать смесь, содержащую всего 1 % угля и борщевик 3%.



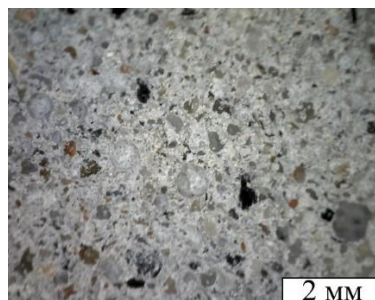
Образец уголь 1% + борщевик



Образец борщевик + уголь 2%



Образец борщевик + уголь 3%



Образец только с углем 1%

**Рис.8.** Изображение поверхности образцов, с 50кратным увеличением  
**Fig.8.** Sample surface image, 50x magnification

**Определение теплопроводности.** Измерение теплопроводности проводилось в течение 1,5 часов, после чего образец переворачивали и повторили опыт. Внешний вид дисплея установки ПИТ-2.1 и кривая изменения теплопроводности по времени представлены на рисунке 9.



**Рис.9.** Определение теплопроводности материала на приборе ПИТ-2.1  
**Fig.9.** Determination of the thermal conductivity of the material on the device PIIT-2.1

## ВЫВОДЫ

Уменьшение количества цемента в бетонном композите может привести к снижению вредных выбросов и количества отходов образованных при производстве продукции на его основе [31-32]. Применение отработанных в процессах водоочистки активированных углей и сухой щепы борщевика позволяет утилизировать отходы (отработанные угольные фильтры и сорняк). Использование отходов в качестве вторичного сырья [33] помогает уменьшить вес конструкции, что приводит к меньшим нагрузкам на фундамент. Использование борщевика в бетоне несомненно помогает в борьбе со злостным инвазивным сорняком, который растет в большом количестве в городах и является большой проблемой для сельского хозяйства и людей. Бетонный композит может быть применен заводами-изготовителями бетонной и железобетонной продукции. Уголь в смеси с борщевиком может также адсорбировать в составе бетонов токсичные вещества.

Добавка из отработанного активированного угля в бетонном композите улучшила теплопроводность материала на 12,3%. Из всех предложенных образцов наименьшие потери прочности получились у образцов с 1% угля, около 12,8%. Положительным эффектом от использования угля является создание пластичного материала. При достижении максимальной нагрузки, такие образцы не разрушаются и продолжают сохранять свою форму.

В дальнейших исследованиях планируется использовать отработанный активированный уголь в большем процентном отношении по объему, чтобы получить теплоизоляционный бетон.

Теплопроводность бетона из серии с контрольными образцами составлял 1,5 Вт/(м·К) [30], а для образца, содержащего только активированный уголь, средняя теплопроводность составила 1,316 Вт/(м·К), что на 12,3% меньше, чем у обычного бетона. Это говорит о том, что бетонный композит с активированным углем будет работать лучше при тепловой защите здания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Табунщиков Ю.А. Москва - умный безуглеродный город: возможности современного строительства // Энергосбережение. 2019. № 6. - С. 12-13.
- 2 Кокая Д.В., Заборова Д.Д. Экологическая оценка теплоизоляционных материалов для ограждающей конструкции // Неделя науки ИСИ. сборник материалов Всероссийской конференции. 2022. - С. 372-375.
- 3 Rissman, J.; Bataille, C.; Masanet, E.; Aden, N.; Morrow, W.R.; Zhou, N.; Elliott, N.; Dell, R.; Heeren, N.; Huckestein, B.; et al. Technologies and policies to decarbonize global industry: Review and assessment of mitigation drivers through 2070. *Applied energy*. 2020. № 266. 114848. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.114848
- 4 Gamayunova O., Petrichenko M., Mottaeva A. Thermotechnical calculation of enclosing structures of a standard type residential building // *Journal of Physics: Conference Series*. Ser. "International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies" 2020. С. 012066. DOI: 10.1088/1742-6596/1614/1/012066
- 5 Petrichenko M., Ostrovaia A., Statsenko E. The Glass Ventilated Facades – Research of an Air Gap // *Applied Mechanics and Materials*. 2015. (725–726). С. 87–92. DOI:10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMM.725-726.87.
- 6 Зубарев К.П., Бородулина А.И., Галлямова А.Р. Оптимизация сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций зданий. Обзор литературы // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2021. № 6 (1042). - С. 51-53.
- 7 Зубарев К.П., Бородулина А.И., Галлямова А.Р. Теоретические и экспериментальные методы определения сопротивления теплопередаче. Обзор литературы // *Строительные материалы*. 2021. № 6. - С. 9-14.

- 8 Цыпленков Д., Гамаюнова О. Современные строительные энергоэффективные материалы // Строительство новые технологии - новое оборудование. 2021. № 12. - С. 6–11.
- 9 Чакин Е.Ю., Гамаюнова О.С. Использование BIM-технологий для выбора энергоэффективных теплоизоляционных материалов // Инженерные исследования. 2022. № 2(7). - С. 11–21.
- 10 Зубарев К.П., Зобнина Ю.С. Анализ применения фазопереходных материалов для повышения энергосбережения зданий // Перспективы науки. 2022. № 10 (157). - С. 91-95.
- 11 Vatin N., Gamayunova O. Energy efficiency and energy audit: the experience of the russian federation and the republic of belarus // Advanced Materials Research. 2015. Т. 1065-1069. - С. 2159-2162.
- 12 Petrichenko M.R., Petrichenko R.M. Convective heat and mass transfer in combustion chambers of piston engines. Basic results // Heat Transfer - Soviet Research. 1991. № 5(23). - pp. 703.
- 13 Русина В. В., Соколов А. А., Рябиков В. М., Бетон с использованием топливных отходов. Строительство: новые технологии - новое оборудование. 2019. № 4
- 14 Шабанов Е.А., Гилязидинова Н.В. Исследование свойств бетонных смесей с применением отходов угледобычи для строительства шахт // Инновации и Инвестиции. 2020. № 9. - С. 240-244.
- 15 Ганник Н.И., Мартыш А.П., Гайдар А.М., Березюк А.Н., Долотий М.А. Влияние на пластифицирующие отходы на основе бурого угля и торфа // Вісник ПДАБА. 2019. №2. - С. 251-252.
- 16 Фильченко М. В., Климова Л. В. Применение отходов добычи и переработки угля в качестве заполнителей бетонных смесей // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2013. №3 (172).
- 17 Aiswarya.S, Malvin T Moses, Lloyd Bennet Thomas J.S., Dev and G. V. Prospective Benefits of Using Activated Carbon in Cement Composites- An Overview // International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET). 2019. № 3(10). - pp. 289–296.
- 18 Фёдоров М., Масликов В., Чечевичкин А., Чечевичкин В., Якунин Л. Применение отработанных сорбентов очистки поверхностных сточных вод для интенсификации роста растений. Экология и промышленность России. 2021. № 25(7). С. 26-31. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-7-26-31>
- 19 Чечевичкин В.Н., Чечевичкин А.В. Фильтрующий патрон // Патент на полезную модель RU 138499 U1, 20.03.2014. Заявка № 2013129307/05 от 27.06.2013.
- 20 Ватин Н.И., Греков М. А., Леонов Л. В., Пробриский М. Д., Рублевская О. Н., Чечевичкин А. В., Якунин Л. А. Опыт всепогодной эксплуатации фильтра ФОПС® при очистке поверхностного стока с техногенно нагруженной селитебной территории // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 8. С. 40-50
- 21 Агрест М.М., Гомолицкий В.Н., Лавров В.В., Рейфман Л.С., Чечевичкин В.Н., Павленко И.В., Юркевич А.А., Медведев С.Л., Картель Н.Т., Стрелко В.В., Литвинская В.В., Бенедиктов А.П. Сорбционный фильтр // Авторское свидетельство SU 1567243 A1, 30.05.1990. Заявка № 4236488 от 27.04.1987.
- 22 Винокуров К.И., Лазарев Ю.Г., Чечевичкин А.В., Чечевичкин В. Н., Якунин Л. А. Совершенствование технологии очистки поверхностного стока с мостовых переходов на автомагистралях // Путевой навигатор. 2021. № 49 (75). - С. 56-62
- 23 Греков М.А., Елагин С.В., Козинец Г.Л., Леонов Л.В., Чечевичкин А.В., Якунин Л.А. Тестовая эксплуатация фильтра-сепаратора ФОПС-С при очистке поверхностного стока с территории автопарковки // Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 2. - С. 38–45.
- 24 Чечевичкин А.В. Проектирование и применение локальных очистных сооружений поверхностного стока на основе фильтров ФОПС. СПб. Любавич. 2017. 170 с.
- 25 Коряковцева Т.А., Заборова Д.Д., Гамаюнова О.С. Использование растительных и угольных отходов в качестве вторичного сырья в бетонных композитах // Строительство и техногенная безопасность. 2022. № 27(79). - С. 27-37
- 26 Столяров О.Н., Ольшевский В.Я., Донцова А.Е., Демидова Ю.А. Углеродные волокна в строительстве мостов // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2019. № 3(78). С. 36-49. DOI: 10.18720/CUBS.78.3
- 27 Ватин Н.И., Султанов Ш.Т., Крупина А.А. Сравнение теплоизоляционных характеристик пенополиизоцианурата (PIR), минеральной ваты, карбона и аэрогеля // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2019. № 4 (138). - С. 161-165.
- 28 Аверьянова О.В., Ольшевский В.Я., Султанов Ш.Т., Кулигин Д.Д., Иванов Е.Ю., Емельянов Г.А. Теплопроводность изделий из экструзионного пенополистирола после десяти лет хранения // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2021. № 5 (268). С. 67-71.
- 29 Krotov O., Gromyko P., Gravit M., Belyaeva S., Sultanov S. Thermal conductivity of geopolymer concrete with different types of aggregate // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 7. Sep. "VII International Scientific Conference "Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education", IPICSE 2020" 2021. С. 012018. DOI: 10.1088/1757-899X/1030/1/012018
- 30 Musorina T.A., Zaborova D.D., Petrichenko M.R., Stolyarov O. Flexural properties of hogweed chips reinforced cement composites // Magazine of Civil Engineering. 2021. № 1(107). С. 107. DOI:10.34910/MCE.107.9
- 31 Хозин В.Г., Хохряков О.В., Козлов Р.В. Экологический рейтинг "карбонатных" цементов

низкой водопотребности и бетонов на их основе // Известия КазГАСУ. 2021. №2 (56). - С. 60-66

32 Andrew M. R. Global CO<sub>2</sub> emissions from cement production // *Earth Syst. Sci. Data*. 2018. No 10. pp 195–217. DOI: 10.5194/essd-10-195-2018

33 Перфилов В.А., Вольская О.Н. Утилизация промышленных отходов для повышения экологической безопасности окружающей среды // Юг России: экология, развитие. 2016. №2 (11). С.205-212. DOI: 10.18470/1992-1098-2016-2-205-212

## REFERENCES

1. Tabunshchikov Yu.A. Moscow is a smart carbon-free city: the possibilities of modern construction // *Energy saving*. 2019. No. 6. pp. 12-13. (In Russian).

2. Kokaya D.V., Zaborova D.D. Ecological assessment of heat-insulating materials for building envelope // *Week of science ISI. collection of materials of the All-Russian conference*. 2022, pp. 372-375. (In Russian).

3. Risman, J.; Bataille, C.; Masanet, E.; Aden, N.; Morrow, W. R.; Zhou, N.; Elliot, N.; Dell, R.; Heeren, N.; Huckestein, B.; et al. Technologies and policies to decarbonize global industry: Review and assessment of mitigation drivers through 2070. *Applied energy*. 2020. No 266. P. 114848. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.114848

4. Gamayunova O., Petrichenko M., Mottaeva A. Thermotechnical calculation of enclosing structures of a standard type residential building // *Journal of Physics: Conference Series. Ser. "International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies"* 2020. P. 012066. DOI: 10.1088/1742-6596/1614/1/012066

5. Petrichenko M., Ostrovaia A., Statsenko E. The Glass Ventilated Facades – Research of an Air Gap // *Applied Mechanics and Materials*. 2015. No (725–726). pp. 87–92. DOI:10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMM.725-726.87.

6. Zubarev K.P., Borodulina A.I., Galliamova A.R. Optimization of heat transfer resistance of translucent building structures. Literature review // *BST: Bulletin of construction equipment*. 2021. No. 6 (1042). pp. 51-53. (In Russian).

7. Zubarev K.P., Borodulina A.I., Galliamova A.R. Theoretical and experimental methods for determining the resistance to heat transfer. Literature review // *Building materials*. 2021. No. 6. P. 9-14. DOI: 10.31659/0585-430X-2021-792-6-9-14. (In Russian).

8. Tsyplenkov D., Gamayunova O. Modern building energy-efficient materials // *Building new technologies - new equipment*. 2021. No 12. pp. 6–11. (In Russian).

9. Chakin E.Yu., Gamayunova O.S. The use of BIM-technologies for the selection of energy-efficient heat-insulating materials. *Inzhenernye issledovaniya*. 2022. No. 2(7). pp. 11–21. (In Russian).

10. Zubarev K.P., Zobnina Yu.S. Analysis of the use of phase transition materials to improve the energy

saving of buildings // *Prospects of Science*. 2022. No. 10 (157). pp. 91-95. (In Russian).

11. Vatin N., Gamayunova O. Energy efficiency and energy audit: the experience of the russian federation and the republic of belarus // *Advanced Materials Research*. 2015. T. 1065-1069. C. 2159-2162.

12. Petrichenko M.R., Petrichenko R.M. Convective heat and mass transfer in combustion chambers of piston engines. Basic results // *Heat Transfer - Soviet Research*. 1991. No 5(23). pp. 703.

13. Rusina V. V., Sokolov A. A., Ryabikov V. M., Concrete using fuel waste. *Construction: new technologies - new equipment*. 2019. No 4. (In Russian).

14. Shabanov E.A., Gilazidinova N.V. Study of the properties of concrete mixtures using coal mining waste for the construction of mines // *Innovations and Investments*. 2020. No 9 pp. 240-244. (In Russian).

15. Gannik N.I., Martysh A.P., Gaidar A.M., Berezyuk A.N., Doloty M.A. Influence on plasticizing wastes based on brown coal and peat // *Visnik PDABA*. 2019. No. 2 pp. 251-252. (In Russian).

16. Filchenko M. V., Klimova L.V. The use of coal mining and processing waste as aggregates for concrete mixtures. *Izvestiya vuzov. North Caucasian region. Series: Engineering sciences*. 2013. No. 3 (172). (In Russian).

17. Aiswarya.S, Malvin T Moses, Lloyd Bennet Thomas J.S., Dev and G. V. Prospective Benefits of Using Activated Carbon in Cement Composites- An Overview // *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET)*. 2019. No 3(10). pp. 289–296.

18. Fedorov M., Maslikov V., Chechevichkin A., Chechevichkin V., Yakunin L. Use of spent sorbents for surface wastewater treatment for intensification of plant growth. *Ecology and industry of Russia*. 2021. No 25(7). pp. 26-31. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-7-26-31>. (In Russian).

19. Chechevichkin V.N., Chechevichkin A.V. Filter cartridge // *Utility model patent RU 138499 U1*, 03/20/2014. Application No. 2013129307/05 dated 06/27/2013. (In Russian).

20. Vatin N.I., Grekov M.A., Leonov L.V., Probrirsky M.D., Rublevskaya O.N., Chechevichkin A.V., Yakunin L.A. Experience of all-season operation of the FOPS® filter during cleaning surface runoff from a technogenically loaded residential area // *Water supply and sanitary engineering*. 2018. No. 8. pp 40-50. (In Russian).

21. Agrest M.M., Gomolitsky V.N., Lavrov V.V., Reifman L.S., Chechevichkin V.N., Pavlenko I.V., Yurkevich A.A., Medvedev S.L., Kartel N.T., Strelko V.V., Litvinskaya V.V., Benediktov A.P. Sorption filter // *Copyright certificate SU 1567243 A1*, 05/30/1990. Application No. 4236488 dated 04/27/1987. (In Russian).

22. Vinokurov K.I., Lazarev Yu.G., Chechevichkin A.V., Chechevichkin V.N., Yakunin L.A. Improving the technology of treating surface runoff from bridge crossings on highways // *Travel navigator*. 2021. No. 49 (75) pp. 56-62. (In Russian).

23. Grekov M.A., Elagin S.V., Kozinets G.L., Leonov L.V., Chechevichkin A.V., Yakunin L.A. Test operation of the filter-separator FOPS-S in the treatment of surface runoff from the parking area // *Water Supply and Sanitary Engineering*. 2021. No. 2. pp. 38–45. DOI:10.35776/VST.2021.02.04. (In Russian).

24. Chechevichkin A.V. Design and application of local treatment facilities for surface runoff based on FOPS filters. SPb. Lubavitch. 2017. 170 p. (In Russian).

25. Koryakovtseva T.A., Zaborova D.D., Gamayunova O.S. The use of vegetable and coal waste as a secondary raw material in concrete composites // *Construction and technogenic safety*. 2022. No. 27(79). pp. 27-37. (In Russian).

26. Stolyarov, O.N., Olshevskiy, V.Y., Dontsova, A.E., Demidova, Y.A. Carbon fibers in bridge construction. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2019. No 3(78). pp. 36-49. DOI: 10.18720/CUBS.78.3. (In Russian).

27. Vatin N.I., Sultanov Sh.T., Krupina A.A. Comparison of thermal insulation characteristics of polyisocyanurate foam (PIR), mineral wool, carbon fiber and airgel // *Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture*. 2019. No. 4 (138). pp. 161-165. (In Russian).

28. Averyanova O.V., Olshevsky V.Ya., Sultanov Sh.T., Kuligin D.D., Ivanov E.Yu., Emelyanov G.A. Thermal conductivity of products from extruded polystyrene foam after ten years of storage //

*Construction materials, equipment, technologies of the XXI century*. 2021. No. 5 (268). pp. 67-71. (In Russian).

29. Krotov O., Gromyko P., Gravit M., Belyaeva S., Sultanov S. Thermal conductivity of geopolymer concrete with different types of aggregate // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 7. Ser. "VII International Scientific Conference "Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education", IPICSE 2020". 2021. p. 012018. DOI: 10.1088/1757-899X/1030/1/012018

30. Musorina T.A., Zaborova D.D., Petrichenko M.R., Stolyarov O. Flexural properties of hogweed chips reinforced cement composites // *Magazine of Civil Engineering*. 2021. No 1(107). p. 107. DOI:10.34910/MCE.107.9.

31. Khozin V.G., Khokhryakov O.V., Kozlov R.V. Ecological rating of "carbonate" cements of low water demand and concretes based on them // *Izvestiya KazGASU*. 2021. No. 2 (56). pp. 60-66. (In Russian).

32. Andrew M. R. Global CO2 emissions from cement production // *Earth Syst. Sci. Data*. 2018. No 10. pp 195–217. DOI: 10.5194/essd-10-195-2018

33. Perfilov V.A., Volskaya O.N. Utilization of industrial waste to improve the environmental safety // *South of Russia: ecology, development*. 2016. No 2(11). pp.205-212. DOI: 10.18470/1992-1098-2016-2-205-212. (In Russian).

## STUDY OF AN ECOLOGICAL CONCRETE COMPOSITE BASED ON PLANT ADDITIVE AND CHARCOAL FILTER

Koriakovtseva <sup>1</sup>T.A., Zaborova <sup>1</sup>D.D.

<sup>1</sup>Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya st., St. Petersburg, 195251, Russian Federation, tamusorina@mail.ru, zaborova-dasha@mail.ru

**Abstract.** To create a comfortable microclimate in the premises, it is necessary to comply with the requirements for thermal protection of the building, which requires the selection of materials for enclosing structures. For this purpose, various additives are used in concrete: crushed invasive weed (hogweed) and coal sorption-filtering materials used in water treatment processes. This allows you to create an ecological building material, reduce the amount of cement consumed.

**Subject of research.** The concrete composite with additives, which has increased thermal and mechanical properties.

**Materials and methods.** Research object is a load-bearing layer of a concrete enclosing structure. Seven series of different combinations of additives have been developed, mechanical and thermal characteristics are experimentally determined at equipment Instron 5965 and PIT 2.1. The porous structure of the samples was evaluated by microscopic examination.

**Results:** Thermal conductivity of the new material was improved by 12.3%. The sample with 1% of activated charcoal had the least strength loss (12.8%) compared to other samples. The positive effect of using activated coal is the creation of flexible material that does not collapse when the maximum load is reached and continues to hold its shape. Microscopic studies of the samples revealed an increase in the size of the pores and their number with the charcoal increase in the samples.

**Conclusions:** The created concrete composite can be used in residential and civil construction of buildings and structures. The hogweed is not dangerous in its dry form, does not emit toxic substances and additives of crushed waste sorption materials based on activated charcoal increase the viscosity of the concrete mixture. The use of hogweed in concrete products will contribute to additional commercial interest in the fight against the invasive plant, which is being conducted in St. Petersburg and the Leningrad region. Utilization of spent charcoal sorption materials as part of concrete composites is an important link in solving the problem of waste recycling and improving the environmental situation of the region.

**Key words:** building materials, concrete additives, three-point bending, thermal conductivity, hogweed, waste charcoal sorption-filtering materials



### Раздел 3. Инженерное обеспечение

УДК 628.16

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ СБРОСНЫХ ВОД СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ

Бутко Д.А.

ФГБОУ ВО Донской государственной технической университет,  
344003, Россия, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, ,  
e-mail: den\_111@mail.ru

**Аннотация.** В статье представлены результаты по разработке теории образования, обработки и утилизации сбросных (промывных) вод скорых фильтров (контактных осветлителей) от станции водоподготовки. Показаны этапы формирования сбросных (промывных) вод, факторы влияющие на качество взвеси на каждом из этапов. Приведено математическое описание образования сбросных (промывных) вод, транспортировки по трубопроводам промканализации с учетом гидродинамического воздействия на частицы взвеси и тип применяемого для очистки природных вод реагента. Обработка описана двумя этапами – перемешиванием в камере хлопьеобразования и отстаиванием в статических условиях. Предложен алгоритм выбора технологической схемы обработки промывных вод скорых фильтров в зависимости от направления утилизации.

**Предмет исследования.** Системы обработки сбросных вод скорых фильтров как неотъемлемая часть станции очистки природных вод.

**Материалы и методы.** В работе использованы теоретические положения процесса объемного фильтрования Д.М. Минца, теория коагуляции М.С. Смолуховского и работы ее развивающие, теоретическое описание процесса образования осадка Н.Я. Авдеева.

**Результаты.** Сформированы теоретические основы образования, транспортировки, обработки и утилизации сбросных (промывных) вод.

**Выводы.** По результатам теоретических работ определены этапы жизненного цикла сбросных (промывных) вод скорых фильтров (контактных осветлителей), разработаны теоретические положения обработки промывных вод, выявлены влияющие факторы на качество взвеси на каждом из этапов. Получена математическая модель процессов образования, транспортировки и обработки в камере хлопьеобразования с последующим статическим отстаиванием. Сформирован алгоритм выбора технологической схемы обработки промывных вод скорых фильтров как описание процесса утилизации сбросных (промывных) вод.

**Ключевые слова:** скорые фильтры, промывные воды, сбросные воды, станция водоподготовки

#### ВВЕДЕНИЕ

Схемы повторного использования промывных вод скорых фильтров (контактных осветлителей) и обработки осадка медленно, но верно находят свое применение на станциях очистки природных вод. Новое проектирование или реконструкция ставят перед проектной организацией вопрос эффективного использования в процессе водоподготовки все более дефицитного ресурса – чистой воды из поверхностных водоемов. И решение с экономией до десяти процентов от производительности подсказывает СП 31.13330.2021, учебно-методическая литература, научная периодика – это сооружения повторного использования промывной воды.

Обратимся к СП 31.13330.2021 [1] в вопросе схем повторного использования и обработки осадка. Пункты 9.161-9.164 в общем виде указывают, как необходимо проектировать сооружения, п. 9.165 предлагает «условия применения и расчетные параметры сооружений для обработки промывных вод и осадка следует принимать на основании технико-экономического сравнения технологических решений». Возникает вопрос, а что, в общем-то, сравнивать?? Механическое обезвоживание с обезвоживанием в естественных

условиях – понятно: площади, стоимость оборудования, реагентов, энергоресурсов и т.д. А в схемах повторного использования какие параметры для сравнения? Конструктив сооружений – возможно, но варианты для сравнения все равно на усмотрение проектировщика, поэтому не факт. Остается больше вопросов, чем ответов. Поэтому и практика проектирования сооружений весьма удручающая – там не работает система сбора осветленной воды, здесь система удаления осадка, происходит взмучивание осадка при сбросе новых порций промывной воды с фильтра и т.д., и т.п.

#### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Примеры научного подхода к проектированию схем обработки промывных вод и обработки сбросных вод отстойников. В литературе известны схемы, созданные (реконструированные) В.Л. Драгинским [2], М.И. Урванцевой [3], А.Я. Наймановым [4] и др., успешно функционирующие и обеспечивающие значительную экономию воды на собственные нужды. При этом нам не удалось найти в литературе теории образования, обработки и утилизации сбросных вод от станции водоподготовки, позволившей бы определить влияющие факторы на каждом этапе и, по

возможности, выполнить математическое описание процесса.

## МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сначала позвольте небольшое уточнение понятий. Схемы повторного использования промывных вод скорых фильтров и контактных осветлителей известны давно, о них много написано в различных вариантах исполнения – усреднение, безреагентная или реагентная обработка. Занимаясь в течение длительного времени данной проблемой, мы пришли к мысли, что название «схемы повторного использования» исчерпали себя, ограничиваясь исключительно возвратом воды на сооружения обработки природных вод. Возможности утилизации промывных вод на техническое водоснабжение, полив сельскохозяйственных земель позволяет говорить о схемах обработки сбросных (промывных) вод. Причем следует их рассматривать совместно с обработкой сбросных вод отстойников и образующихся при безреагентной или реагентной схемах обработки промывных вод осадков как единую систему образования, транспортировки, обработки и утилизации основного объема сточных вод станции очистки природных вод.

Целью данной работы является представление теории образования, обработки и утилизации сбросных (промывных) вод скорых фильтров (контактных осветлителей) от станции водоподготовки.

Задачи по достижению поставленной цели:

- определение этапов жизненного цикла сбросных (промывных) вод скорых фильтров (контактных осветлителей);
- определение влияющих факторов на каждом из этапов;
- математическое описание этапов и процесса в целом.

В данной статье приводим наше видение такой теории. В основу работы положены теории: теория фильтрования Д.М. Минца; теория коагуляции М.С. Смолуховского и работы ее развивающие; теоретическое описание процесса образования осадка Н.Я Авдеева.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Этапы жизненного цикла сбросных вод – образование, транспортировка, обработка и утилизация – формируют общую модель схемы их обработки. Модель включает в себя генезис сбросных вод в процессе промывки скорого фильтра (контактного осветлителя); обработку (камеру хлопьеобразования, осветление, усреднение, уплотнение, обезвоживание) и утилизацию (рис.1). Сразу отмечу, что до недавних пор процесс транспортировки воды от фильтров (контактных осветлителей) до сооружений обработки не рассматривался с точки зрения влияния на качество взвеси. Наши исследования показали ошибочность такого подхода и необходимость учета гидродинамического воздействия на взвесь при движении по трубопроводам промканализации.



Рис. 1. Концептуальная модель образования, транспортирования, обработки и утилизации промывных вод скорых фильтров и контактных осветлителей станций водоподготовки

Fig. 1. Conceptual model of formation, transportation, treatment and disposal of flushing water of rapid filters and contact clarifiers of water treatment plants

Поэтапно в основу описания процесса были положены теории:

- образование сбросных (промывных) вод – теория фильтрования Д.М. Минца;
- транспортировка по трубопроводам промканализации - теория коагуляции М.С. Смолуховского и работы ее развивающие;
- обработка – теория коагуляции М.С. Смолуховского и работы, ее развивающие, совместно с теоретическим описания процесса образование осадка Н.Я Авдеева;
- утилизация – теоретические основы нами не обнаружены.

Гидродинамическое воздействие на взвесь в работе Е.Д. Бабенкова [5, с.192] оценивается негативно: при величине градиента скорости более  $100 \text{ с}^{-1}$  - происходит разрушение хлопьев, приведена зависимость:

$$\tau_s = \frac{5}{2} \eta G, \quad (1)$$

где  $\eta$  – динамическая вязкость среды, Па·с;

$\tau_s$  – предельное напряжение сдвига, Па.

Учитывая отличие значений предельного напряжения сдвига осадка сбросных (промывных) вод в сравнении с осадком отстойников, в частности в наших исследованиях, величины отличались на порядок, предельная величина градиента скорости будет корректироваться. Расчет градиентов скорости в коллекторах промканализации из стальных и полиэтиленовых труб диаметрами 1000-1400 мм показал, что граница в  $100 \text{ с}^{-1}$  преодолевается при уклонах трубопровода 0,00075-0,0014. В то же время на станциях водоподготовки уже более 30 лет внедряются новые высокомолекулярные коагулянты-флокулянты (например, типа «ПолиДАДМАХ»), у которых процесс образования хлопьев требует длительного и интенсивного перемешивания обрабатываемой воды. Исходя из всего вышесказанного, нами сформулированы основные теоретические положения обработки промывных вод фильтров и контактных осветлителей:

1. В процессе промывки фильтрующей загрузки скорость суффозии частиц много больше скорости их адгезии, интенсивность прилипания частиц стремится к нулю.

2. При промывке фильтровального сооружения поступление взвеси в промывную воду происходит за счет ее отрыва с зерен загрузки, а также за счет разрушения ранее образовавшихся в процессе контактной коагуляции агрегатов.

3. Частицы взвеси в промывной воде представляют собой дестабилизированные или частично дестабилизированные реагентной обработкой частицы, имеющие в своем составе ионы коагулянта, хлопья из продуктов гидролиза коагулянта или сорбированные на поверхности частиц молекулы флокулянта. В отличии от классической теории коагуляции в потоке

промывной воды имеются коагуляционные структуры (частицы), состоящие из двух, трех и более частиц и одиночных (первичных) частиц дисперсной фазы.

4. При промывке фильтрующей загрузки концентрация частиц (количеством) дисперсной фазы в подаваемой на промывку от резервуаров чистой воды много меньше, чем извлекается из загрузки, поэтому ею можно пренебречь. При промывке неочищенной водой дополнительное количество одиночных частиц следует суммировать с частицами, образовавшимися в процессе промывки.

5. При движении по трубопроводам промканализации станций водоподготовки, в общем случае, коагуляционные структуры подвергаются разрушению (дроблению) за счет взаимного трения и гидродинамического воздействия потока. В случае использования для осветления природных вод на станции водоподготовки некоторых высокомолекулярных флокулянтов, в частности типа ПолиДАДМАХ, следует учитывать возможность хлопьеобразования в условиях высокого градиента скорости.

6. Вводимый реагент до сооружения обработки только смешивается с промывной водой. Коагулянты и флокулянты используемые в реагентных схемах обработки промывных вод, не образуют двоичных, третичных и т.д. структур (хлопьев) при движении по трубопроводу промканализации.

7. При использовании камеры хлопьеобразования, встроенной в сооружение по обработке промывных вод, происходит укрупнение коагуляционных структур, но не происходит седиментация взвешенных частиц.

В общем виде этапы концептуальной модели предлагается описать функциями:

$$X_1 = f(\omega, v, C, a, b, d, n, N);$$

$$X_2 = f(G, \tau_{\text{тр}});$$

$$X_3 = f(D, G, \tau_{\text{кх}}); \quad (2)$$

$$X_4 = f(M(C), \tau_{\text{отст}});$$

$$X_5 = f(\text{ОКБ, БПК, ХПК, рН})$$

где  $v$  - скорость фильтрования;

$a$  – параметр фильтрования, определяющий интенсивность отрыва частиц и зависящий от условий фильтрования;

$b$  – параметр фильтрования, определяющий интенсивность адгезии частиц;

$d$  – диаметр загрузки;  $\omega$  – интенсивность промывки;  $n$  – число первичных (единичных) частиц;

$N$  – число вторичных, третичных и т.д. частиц (хлопьев взвеси);

$C$  – массовая концентрация взвеси;

$G$  – градиент скорости;

$\tau_{тр}$  и  $\tau_{кхо}$  – время соответственно движения воды по трубопроводу промканализации и перемешивания в камере хлопьеобразования в сооружении обработки;

Д – доза реагента для обработки промывных вод;

М – мутность воды; ОКБ – общие колиформные бактерии;

БПК – биохимическое потребление кислорода;

ХПК – химическое потребление кислорода;

$\tau_{отст}$  – время отстаивания.

Рассмотрим математическое описание для каждого этапа концептуальной модели.

**Этап 1 (Х1).** Генезис сбросных (промывных) вод при промывке скорого фильтра (контактного осветлителя).

Математическое описание процесса осветления в фильтрующей загрузке согласно теории Д.М. Минца представляет собой дифференциальное уравнение изменения концентрации по высоте фильтрующего слоя и времени фильтрования [6]:

$$\frac{\partial^2 c}{\partial x \partial \tau} + av \frac{\partial c}{\partial x} + b \frac{\partial c}{\partial \tau} = 0. \quad (3)$$

С учетом принятого нами допущения о скорости процесса адгезии при промывке третье слагаемое принимаем равным нулю, тогда:

$$\frac{\partial^2 c}{\partial x \partial \tau} + av \frac{\partial c}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

где  $v$  – скорость фильтрования;

$a$  – параметр фильтрования, определяющий интенсивность отрыва частиц и зависящий от условий фильтрования

$$a = \alpha \frac{v}{d} \quad (5)$$

где  $d$  – диаметр загрузки;

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий совокупное влияние всех физических и физико-химических свойств воды и взвеси.

С учетом того, что скорость фильтрования  $v$  можно выразить через интенсивность промывки  $\omega$  уравнение (4) нами преобразовано в

$$\frac{\partial^2 c}{\partial x \partial \tau} + \frac{\alpha \omega^2}{d} \frac{\partial c}{\partial x} = 0. \quad (6)$$

Массовую концентрацию  $C$  в уравнении (4) можно представить через объемную концентрацию

$$C = C_0 \gamma_0 \quad (7)$$

или через количество частиц в единице объема в общем случае, принимая, что хлопья состоят из  $i$  первичных частиц и введение с промывной водой первичных частиц в количестве  $n_{пром}$ , нами получено уравнение для массовой концентрации частиц в промывной воде во время промывки

$$C = C_0 \gamma_0 = \frac{4}{3} \gamma_0 \pi r_1^3 \left( n + n_{пром} + \sum_{i=2}^{\infty} i N_i \right), \quad (8)$$

где  $r_1$  – радиус одиночной (первичной) частицы;

$N_i$  – численная концентрация хлопьев из  $i$  частиц радиусом  $r_i$

После подстановки получаем уравнение количества одиночных частиц и хлопьев при промывке фильтрующей загрузки

$$\frac{\partial^2 (n + n_{пром} + \sum_{i=2}^{\infty} i N_i)}{\partial x \partial \tau} + \frac{\alpha \omega^2}{d} \frac{\partial (n + n_{пром} + \sum_{i=2}^{\infty} i N_i)}{\partial x} = 0. \quad (9)$$

**Этап 2 (Х2).** Транспортировка по трубопроводам промканализации.

Согласно сформулированным теоретическим положениям, при движении сбросной (промывной) воды по трубопроводам следует рассмотреть влияние на взвешенные частицы двух одновременно проходящих процессов: разрушения имеющихся хлопьев и, при использовании для осветления природных вод высокомолекулярных флокулянтов, хлопьеобразования.

Работа камер хлопьеобразования по укрупнению хлопьев в работах Н.С. Harris [7] на основании теории М.С. Смолуховского описывается уравнением скорости убывания первичных частиц в системе

$$-\frac{dn_1}{d\tau} = \sum_{i=1}^{p-1} \frac{4}{3} N n_1 R_{i1}^3 G = \frac{4}{3} G n_1 \sum_{i=1}^{p-1} N_i \left( a r_1 \left( i^{1/3} + 1 \right) \right)^3 = \frac{a^3}{\pi} G C_0 n_1 \varepsilon_p, \quad (10)$$

где  $a$  – отношения радиуса столкновения частицы к ее истинному радиусу;  $\varepsilon_p$  – параметр равный

$$\varepsilon_p = \frac{\sum_{i=1}^{p-1} N_i (i^{1/3} + 1)^3}{\sum_{i=1}^p i N_i} \quad (11)$$

где  $p$  – максимально возможное число первичных частиц в каждом из хлопьев.

При этом предполагается, что все единичные (первичные) частицы взвеси имеют одинаковый эквивалентный диаметр.

В целом для камеры хлопьеобразования

$$\frac{n_0}{n_\tau} = \exp(KEG n_0 \tau). \quad (12)$$

Разрушение хлопьев в потоке за счет соударений и ударных сил в турбулентном потоке в связи с гидродинамическими условиями перемешивания может быть описано уравнением [5, с.149] скорости образования первичных частиц в системе

$$\frac{dn_1}{d\tau} = K_B N \frac{r_f^2}{r_1^2} G, \quad (13)$$

где  $n_i$  и  $N$  – концентрация в воде соответственно первичных частиц и хлопьев;

$r_1$  и  $r_f$  – размер первичных частиц и хлопьев;

$K_B$  – константа скорости разрушения хлопьев.

Тогда уравнение скорости изменения количества первичных агрегатов при движении воды по коллектору промканализации имеет вид:

$$\frac{dn}{d\tau} = \frac{dN_i}{d\tau} - K_B N \frac{r_f^2}{r_1^2} G + \frac{4}{3} G n_1 \sum_{i=1}^{p-1} N_i \left( ar_1 \left( i^{\frac{1}{3}} + 1 \right) \right)^3. \quad (14)$$

**Этап 3 (X<sub>3</sub>, X<sub>4</sub>).** Обработка сбросных (промывных) вод.

Восстановлению и (или) образованию хлопьев способствует медленное перемешивание, осуществляемое в камере хлопьеобразования, а процессу осветления – седиментация. Следовательно, в общем случае необходимо рассмотреть два подэтапа обработки: камеру хлопьеобразования и седиментацию в покое.

*Камера хлопьеобразования (X<sub>3</sub>).* Устраивая в сооружении обработки промывных вод камеру хлопьеобразования, мы предполагаем, что в ней происходит только образование хлопьев (п.7 теоретических положений). Тогда с учетом наличия в воде, прошедшей коллектор промканализации, некоего числа двоичных, третичных и т.д. структур скорость изменения единичных структур в камере хлопьеобразования сооружений обработки промывных вод предлагается описать уравнением

$$\frac{dn}{d\tau} = \frac{dN_i}{d\tau} - \frac{4}{3} G n_1 \sum_{i=1}^{p-1} N_i \left( ar_1 \left( i^{\frac{1}{3}} + 1 \right) \right)^3. \quad (15)$$

*Седиментация (X<sub>4</sub>).* С учетом того, что осветление воды в сооружениях обработки происходит в статических условиях, нами предлагается рассмотреть осветление, как совокупность двух процессов – гравитационной коагуляции и седиментации (собственно образования осадка). Коагуляция, как уменьшение общего количества частиц в системе, описана выше. Оценка седиментационных свойств взвеси с использованием аналитических методов выполнена в работе [8], и показана возможность их применения для обработки результатов экспериментов с промывными водами фильтровальных сооружений, представляющих собой малоконцентрированные суспензии с количеством твердой фазы (дисперсной фазы) менее 500 мг/дм<sup>3</sup>. В результате сравнения методов обработки и формул для расчета скорости осаждения частицы наиболее достоверно процессы описывает метод профессора Н.Я. Авдеева, который и применяется далее для анализа опытного материала в рамках настоящей работы. Расчет скоростей осаждения по формулам, предложенным Стоксом и Е.Ф. Кургаевым [9], [10], показал отличие в значениях скоростей осаждения при эквивалентных диаметрах частиц больше 1,1 мм.

Следовательно, при определении параметров системы по методу Н.Я. Авдеева с использованием представленных зависимостей для частиц с эквивалентным диаметром более 1,1 мм, полученные данные будут недостоверны. Однако на практике частицы с таким эквивалентным диаметром встречаются весьма редко и не характерны для промывных вод, образующихся при очистке вод источников малой и средней мутности.

Принимая плотность хлопьев в осадке одинаковой по слою осадка и массу выпавшего осадка пропорциональной количеству частиц и используя уравнение 5, получаем

$$Q \approx \frac{4}{3} \gamma_0 \pi r_1^3 \sum_{i=1}^{\infty} i n_i \approx K_{oc} n_{oc}, \quad (16)$$

тогда скорость изменения количества единичных частиц, исправленная на количество единичных частиц, выпавших ко времени  $\tau$  в осадок, предлагаем определять по формуле

$$-\frac{dn^{исп}}{d\tau} = \frac{dn}{d\tau} - \frac{dn_{oc}}{d\tau} = \frac{2}{3} \psi k T \frac{1}{\eta} n^2 + \frac{1}{K_{oc}} e^{-\frac{1}{\mu_0 \tau^\beta}} (1 - \mu_0 \beta \tau^{\beta-1}) - \frac{1}{K_{oc}} \beta \tau^{-1} (1 + \mu_0 \tau^\beta), \quad (17)$$

где  $K_{oc}$  – коэффициент пропорциональности;  $n^{исп}$  – исправленное на количество выпавших в осадок значение частиц в объеме воды к времени  $\tau$ . Интегрируя (15)

$$n_0 - n = \frac{2}{3} \psi k T \frac{1}{\eta} n^2 \tau + \frac{1}{K_{oc}} \left( 1 - e^{-\frac{1}{\mu_0 \tau^\beta}} \right) \mu_0 \tau^\beta, \quad (18)$$

тогда количество частиц в системе к времени  $\tau$

$$n = \frac{[1+2K(n_0-C)]^{0.5}}{K\tau} \quad (19)$$

при  $K = \frac{4}{3} \psi k T \frac{1}{\eta}$  и  $C = \frac{1}{K_{oc}} \left( 1 - e^{-\frac{1}{\mu_0 \tau^\beta}} \right) \mu_0 \tau^\beta$ .

Объединяя этапы 1-3, получаем математическое описание процессов образования, транспортировки и обработки промывных вод скорых фильтров и контактных осветлителей, предполагая монодисперсность одиночных (первичных) частиц



Переход от количества частиц в воде к содержанию взвешенных веществ может быть выполнен по соотношению

$$C = C_0 \gamma_0 = \frac{4}{3} \gamma_0 \pi r_1^3 (n + \sum_{i=2}^{\infty} i N_i), \quad (21)$$

где  $C_0$  – объемная концентрация частиц в воде;  
 $\gamma_0$  – массовое содержание твердой фазы в единице объема осадка при эффективном давлении осадка  $P=0$ , определяемое опытным путем по методике Е.Ф. Кургаева[9].

В реальных полидисперсных системах необходимо определиться с функциями распределения по диаметрам единичных частиц и хлопьев, что составляет значительные трудности. В связи с чем на первый план выходят эмпирически полученные зависимости, например [11]:

для статических условий (вода непосредственно из фильтра без транспортировки по коллектору промканализации):

$$\Theta = 12,19 \ln(\tau h^{0,51}) - K_1 t + K_2 C_{взв} \quad (22)$$

где  $\tau$  – время осветления промывной воды до заданного эффекта осветления, с;

$\Theta$  – эффект осветления, %;  $C_{взв}$  – начальная концентрация взвешенных веществ, мг/дм<sup>3</sup>;

$t$  – температура промывной воды в процессе осветления, °С;

$h$  – высота слоя отстаивания, м;

$K_1$  и  $K_2$  – коэффициенты, численно равные соответственно 0,93 1/°С и 0,019 дм<sup>3</sup>/мг.

в условиях гидродинамического воздействия на взвесь:

$$\Theta = 100 - \exp\left(\left(\frac{0,17}{t^{0,03}}\right)^3 \frac{0,01GT+13085}{(C_{взв}h)^{0,02}} \left(\frac{0,23}{\tau^{0,03}} - 0,01\right) - 6,53\right), \quad (23)$$

где GT – критерий Кэмпбелла.

С достоверностью 95 % уравнение (20) описывает изменение эффекта осветления сбросных вод с содержанием взвешенных веществ от 50÷400 мг/дм<sup>3</sup>, температуре воды от 5÷25°С и в диапазоне времени осветления от 60÷2700 с при высоте слоя осветления до 2,0 м. Уравнение (21) действительно для промывных вод с содержанием взвешенных веществ 50÷400 мг/дм<sup>3</sup>, температуре воды 5÷25°С, высоте слоя осветления 0,15÷3,5 м, критериях Кэмпбелла  $1 \cdot 10^4 \div 9 \cdot 10^4$ .

Анализируя систему (18) и уравнения (20, 21), можно утверждать, что влияющие на скорость изменения количества частиц, выявленные при формировании математической модели, полностью подтверждаются эмпирическими зависимостями.

## ВЫВОДЫ

1. Определены этапы жизненного цикла сбросных (промывных) вод скорых фильтров (контактных осветлителей). Разработаны теоретические положения обработки промывных вод, учитывающие гидродинамическое воздействие на хлопья дестабилизированных взвешенных частиц (двоичные, третичные и т.д. структуры) и первичные частицы при движении по трубопроводам от фильтров до сооружений обработки, камер хлопьеобразования в сооружениях и осветления в статических условиях совместно с седиментационной коагуляцией.

2. Выявлены влияющие факторы на качество взвеси на каждом из этапов. Получена математическая модель процессов образования, транспортировки и обработки в камере хлопьеобразования с последующим статическим отстаиванием. Эмпирическими зависимостями, полученными для обработки сбросных (промывных) вод, подтверждены теоретические выводы.

3. Сформирован алгоритм выбора технологической схемы обработки промывных вод скорых фильтров как описание процесса утилизации сбросных (промывных) вод.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Свод правил «Водоснабжение, наружные сети и сооружения»: СНиП 2.04.02-84\*: [СП 31.13330-2021]: дата введения 2022-01-28. М., 2022. 214 с.
2. Драгинский, В. Л. Обработка промывных вод фильтров водоочистных станций / В. Л. Драгинский, Л. П. Алексеева // Водоснабжение и санитарная техника. 2005. № 8. С. 25-32.
3. Урванцева, М. И. Обработка промывных вод и осадков водопроводных станций, расположенных на источниках малой и средней мутности и цветности: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04 / Урванцева Марина Игоревна; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т. - Новосибирск, 2011. - 20 с.
4. Реконструкция сооружений повторного использования промывной воды фильтров станции обезжелезивания / Кармалов А. И., Найманов А. Я. [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 10. С. 14-20.
5. Бабенков, Е. Д. Очистка воды коагулянтами / Е. Д. Бабенков; АН СССР, Ин-т физ. химии. М.: Наука, 1977. 356 с.
6. Фрог, Б. Н. Водоподготовка / Б. Н. Фрог, А. Г. Первов: учеб. для вузов. М.: Издательство АСВ, 2015. 255 с.
7. Harris, H. S. Orthokinetic Flocculation in Water Purification / H. S. Harris, W. J. Kaufman, R. B. Krone // J. Sanit. Eng. Div., proc. Am. Soc. Civ. Eng. 1966. № 6. pp. 95.
8. Бутко, Д. А. Промывные воды скорых фильтров и их повторное использование:

монография / Д. А. Бутко; Рост. гос. строит. ун-т. Ростов н/Д.: РГСУ, 2009. 121 с.

9. Кургаев, Е. Ф. Осветлители воды / Е. Ф. Кургаев. М.: Стройиздат, 1977. 192 с.

10. Клячко, В. А. Подготовка воды для промышленного и городского водоснабжения / В. А. Клячко, И. Э. Апельцин; Акад. строительства и архитектуры СССР. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т водоснабжения, канализации, гидротехн. сооружений и инженерной гидрогеологии «ВОДГЕО». М.: Госстройиздат, 1962. 819 с.

11. Butko, D.A., Volodina, M.S. Regularities of rapid filter backwash water clarification in reagent-free mode. *Magazine of Civil Engineering*. 2022. 111(3). Article No. 11107. DOI: 10.34910/MCE.111.7

## REFERENCES

1. Code of rules "Water supply, outdoor networks and structures": SNiP 2.04.02-84\*: [SP 31.13330 - 2021]: date of introduction 2022-01-28. М., 2022. 214 p.

2. Draginsky, V. L. Treatment of washing water filters of water treatment plants / V.L. Draginsky, L.P. Alekseeva // *Water supply and sanitary equipment*. 2005. No. 8. pp. 25-32.

3. Urvantseva, M.I. Treatment of washing waters and sediments of water supply stations located at sources of low and medium turbidity and chromaticity: abstract. dis. ... Candidate of Technical Sciences: 05.23.04 / Urvantseva Marina Igorevna; Novosibirsk State Art-architecture.-builds. un-T. Novosibirsk, 2011. 20 p.

4. Reconstruction of facilities for reuse of flushing

water filters of the de-ironing station / Karmalov A. I., Naimanov A. Ya. [et al.] // *Water supply and sanitary equipment*. 2020. No. 10. pp. 14-20.

5. Babenkov, E.D. Water purification with coagulants / E.D. Babenkov; USSR Academy of Sciences, Institute of Physics. chemistry. -M.: Nauka, 1977. 356 p.

6. Frog, B.N. Water treatment / B.N. Frog, A. G. Pervov: textbook. for universities. М.: Publishing of the DIA, 2015. 255 p.

7. Harris, H.S. Orthokinetic Flocculation in Water Purification / H.S. Harris, W.J. Kaufman, R. B. Krone // *J. Sanit. Eng. Div., proc. Am. Soc. Civ. Eng.* 1966. № 6. P. 95.

8. Butko, D. A. Washing water of fast filters and their reuse: monograph / D. A. Butko; Rost. gos. builds. un-T. Rostov n/A: RGSU, 2009. 121 p.

9. Kurgaev, E. F. Water clarifiers / E. F. Kurgaev. М.: Stroyizdat, 1977. 192 p.

10. Klyachko, V.A. Water preparation for industrial and urban water supply / V.A. Klyachko, I. E. Apeltsin; Akad. construction and architecture of the USSR. All-Union. scientific-research. in-t water supply, sewerage, hydraulic engineering. structures and engineering hydrogeology "VODGEO". М.: Gosstroizdat, 1962. 819 p.

11. Butko, D.A., Volodina, M.S. Regularities of rapid filter backwash water clarification in reagent-free mode. *Magazine of Civil Engineering*. 2022. 111(3). Article No. 11107. DOI: 10.34910/MCE.111.7

## THEORETICAL ASPECTS OF WASTE WATER TREATMENT SYSTEMS OF RAPID FILTERS

Butko D.A.

<sup>1</sup>Don State Technical University, Rostov-on-Don, 1 Gagarin Square, 344003, Russia, e-mail: den\_111@mail.ru

**Abstract.** The article presents the results of the development of the theory of formation, treatment and disposal of waste (flushing) water of rapid filters (contact clarifiers) from the water treatment plant. The stages of the formation of waste (washing) waters, factors affecting the quality of the suspension at each stage are shown. A mathematical description of the formation of waste (washing) waters, transportation through industrial sewerage pipelines, taking into account the hydrodynamic effect on suspended particles and the type of reagent used for natural water purification is given. The treatment is described in two stages – mixing in the flocculation chamber and settling under static conditions. An algorithm is proposed for selecting the technological scheme for the treatment of flushing water of rapid filters, depending on the direction of disposal.

**Subject of research.** Waste water treatment systems of rapid filters as an integral part of a natural water treatment plant.

**Materials and methods.** The paper uses the theoretical provisions of the process of volumetric filtration by D.M. Mints, the theory of coagulation by M.S. Smolukhovskiy and its developing works, the theoretical description of the process of sediment formation by N.Ya. Avdeev.

**Results.** The theoretical foundations of the formation, transportation, treatment and disposal of waste (washing) waters have been formed.

**Conclusions.** Based on the results of theoretical work, the stages of the life cycle of waste (washing) water of rapid filters (contact clarifiers) have been determined, theoretical provisions for the treatment of washing water have been developed, influencing factors on the quality of the suspension at each stage have been identified. A mathematical model of the processes of formation, transportation and processing in the flocculation chamber with subsequent static settling is obtained. The algorithm of selection of the technological scheme of treatment of washing waters of fast filters as a description of the process of disposal of waste (washing) waters is formed.

**Key words:** fast filters, washing water, waste water, water treatment plant

УДК 621.313.2; 621.383

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ТОЧКИ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ

Исса Х. А.<sup>1</sup>, Абдали Л. М.<sup>2</sup>, Якимович Б. А.<sup>3</sup>, Кувшинов В. В.<sup>4</sup>, Бекиров Э. А.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Институт ядерной энергии и промышленности, г. Севастополь, РФ, hassamal817@gmail.com

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Институт ядерной энергии и промышленности, г. Севастополь, РФ, laith\_2210@yahoo.com

<sup>3</sup>ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Институт ядерной энергии и промышленности, г. Севастополь, РФ, yakimovich52@gmail.com

<sup>4</sup>ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Институт ядерной энергии и промышленности, ул. Курчатова, 7, г. Севастополь, РФ, 299015, kuvshinov.vladimir@gmail.com

<sup>5</sup>ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. Вернадского», Физико-технический институт, г. Симферополь, РФ, bekirov.e.a@cfuv.ru

**Аннотация:** В генерирующих фотоэлектрических системах (PV) вырабатываемая энергия ограничена низкой эффективностью солнечных панелей, изменчивостью погодных условий и характеристиками подключенной нагрузки, поэтому крайне важно использовать методы отслеживания точки максимальной мощности (MPPT), чтобы максимизировать генерируемую мощность. Для реализации метода MPPT требуется силовой преобразователь в качестве интерфейса между фотоэлектрической батареей и нагрузкой, поэтому работа преобразователя также является важным фактором, который необходимо учитывать при оценке общей производительности фотоэлектрической системы. Это исследование направлено на сравнительный анализ трех основных неизолрированных преобразователей постоянного тока, которые могут быть эффективно сопряжены для отслеживания точки максимальной мощности (MPPT) в фотоэлектрических (PV) системах с помощью алгоритма отслеживания для управления коэффициентом заполнения этих преобразователей. Здесь было проведено исследование трех известных топологий преобразователя постоянного тока, т. е. boost, понижающего и повышающе-понижающего преобразователей, для тщательного изучения поведения преобразователя, связанного с изменением атмосферных характеристик, последовательного отклонения коэффициента заполнения (из-за MPPT) и эффективности отслеживания. Для эффективной работы системы в точке максимальной мощности алгоритм ТММ должен заставить систему работать в оптимальном режиме при меняющейся солнечной инсоляции и температуре. Результаты, полученные для фотоэлектрической системы, работающей в различных условиях излучения и температуры, сравниваются и это показывает, что комбинация Buck показала наилучшие переходные характеристики и наивысшую эффективность в установившемся режиме.

**Предмет исследования.** Техническое оборудование для производства энергии и управления энергетической системой. Использование эффективного метода управления автономной фотоэлектрической системы.

**Материалы и методы.** Используются методы отслеживания точки максимальной мощности (MPPT), чтобы максимизировать генерируемую мощность и сравнительный анализ трех основных неизолрированных преобразователей постоянного тока, которые могут быть эффективно сопряжены для отслеживания точки максимальной мощности (MPPT) в фотоэлектрических (PV) системах с помощью алгоритма отслеживания для управления коэффициентом заполнения этих преобразователей.

**Результаты.** Результаты показывают, что комбинация Buck показала наилучшие переходные характеристики и наивысшую эффективность в установившемся режиме.

**Выводы.** По результатам можно сделать вывод если рассмотрим колебания напряжения при переменной освещенности, как это происходит в большинстве практических случаев, становится очевидным видеть, что фазное напряжение, создаваемое повышающим преобразователем, содержит гораздо больше колебаний, чем фазное напряжение, создаваемое понижающим преобразователем boost-конвертером.

**Ключевые слова:** фотоэлектрический модуль, солнечное излучение, фотогальваническая система, точка максимальной мощности, фотоэлектрическая панель.

## ВВЕДЕНИЕ

Использование систем силовой электроники всегда требовалось при работе возобновляемых источников энергии, особенно солнечной фотоэлектрической системы [1]. За последние шесть десятилетий насчитывается более 500 моделей DC/DC преобразователей мощности, используемых в различных областях для работы силовой электроники, в том числе при использовании возобновляемых источников энергии [2-4]. Солнечные фотоэлектрические системы являются нелинейными системами и слишком чувствительны к изменениям погодных условий, характеристики величин, передаваемых этой системой (ток, напряжение), имеют единственную точку, где мощность может быть максимальной. Иногда бывает трудно, чтобы рабочая точка между нагрузкой и ГИН была оптимальной точкой системы, в этом случае возникает необходимость введения метода слежения за точкой максимальной мощности (ТММ) [5]. Этот метод используется в качестве контроллера преобразователя мощности постоянного тока через его переключатель, который действует как адаптер импеданса [6-8]. Фотоэлектрическая система генерации (PV) как экологически чистый и неисчерпаемый возобновляемый источник энергии становится все более популярной в современной энергетике. Солнечная энергия может заменить ископаемое топливо при использовании в сочетании с другими экологически чистыми источниками энергии, такими как ветер, гидроэлектроэнергия и т. д. [9].

Низкая эффективность преобразования является основной проблемой фотоэлектрических модулей, которая находится в пределах 12-18%, хотя экспериментальных элементов было изготовлено более 30% [10]. Характеристики, которые имеют нелинейный характер [11] – это явление, которое заметно в частично затененной среде при более чем одной системе отслеживания точек максимальной мощности (МРР). При фиксированном солнечном излучении, температуре и нагрузке важно, чтобы фотогальваническая энергосистема функционировала в состоянии, которое извлекает максимальную мощность из фотоэлектрической панели для наиболее выгодного использования. Таким образом, среди методов получения максимальной отдачи от фотоэлектрической системы отслеживание точки максимальной мощности (МРРТ) для интеграции DG и правильная сеть реконфигурация имеет первостепенное значение [12-14]. В период периодических колебаний солнечной инсоляции, температуры и подключенной нагрузки алгоритм управления ТММ управляет коэффициентом заполнения интерфейса силовой электроники, т. е. преобразователя постоянного тока, подключенного между фотоэлектрической панелью и концом нагрузки, так что рабочая точка преобразователя и МРР фотоэлектрической панели совпадают для

максимальной мощности, отбираемой от панели в нагрузку. Внимание большинства исследователей сосредоточено на расширении и реализации алгоритмов отслеживания, относящихся к функциональности ТММ [15]. Тем не менее, индивидуальные характеристики преобразователей постоянного тока, взаимодействующих с силовой электроникой, в отношении изменения коэффициента заполнения при реализации МРРТ еще предстоит тщательно изучить. Изменение коэффициента заполнения оказывает последующее различное влияние на рабочие параметры преобразователя постоянного тока, что может привести к нарушению конструктивных ограничений топологии преобразователя [16-18], таких, как приращение содержания пульсаций в токе индуктора и в выходном напряжении. Чтобы создать надежную фотоэлектрическую систему с соответствующей топологией преобразователя, которая может отслеживать функциональность МРР, необходимо исследовать преобразователи постоянного тока, подключенные для этой операции. В представленной исследовательской работе проводится анализ производительности фотоэлектрической системы, в которой используется алгоритм ТММ, настроенный для работы в схемах с прерывистой солнечной инсоляцией и температурой, с использованием трех популярных топологий преобразователей постоянного тока. Каждая топология преобразователя была проанализирована на предмет ее эффективности отслеживания для определенного набора резистивных нагрузок, и была представлена относительная оценка поведения представленных преобразователей. Лю и др. исследовали и показали [19], что метод НС может широко использоваться в установках PV из-за меньшего количества контролируемых параметров, необходимых в алгоритме отслеживания, и его упрощенной архитектуры. Чтобы сделать операцию нечеткой, а выполнение ясным, алгоритм отслеживания для представленного исследования выбран в качестве алгоритма управления прямым коэффициентом заполнения НС [20].

## Анализ проекта

### 1. Фотоэлектрический модуль

Моделирование фотоэлемента может быть выполнено как для источника тока, так и для напряжения. В этой статье рассматривается фотоэлектрический элемент с одним диодом, как показано на рис. 1. Каждый солнечный элемент был смоделирован с использованием источника тока, подключенного параллельно диоду, а также последовательного сопротивления « $R_s$ » и шунтирующего сопротивления « $R_{sh}$ » [21].

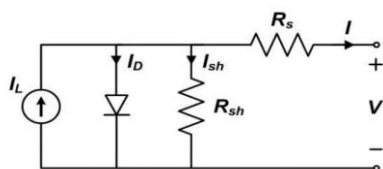


Рис.1. Модель фотоэлемента  
Fig.1. Photocell model

Моделирование солнечных элементов включает в себя реализацию набора нелинейных уравнений перед созданием солнечных элементов, которые упомянуты ниже. Фотогальванический ток,

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i(T - T_r)] \times \frac{I_r}{I_{r0}} \quad (1)$$

Тепловое напряжение,

$$Vt = \frac{k \times T}{q} \quad (2)$$

Обратный ток насыщения,

$$I_s = I_{sc} / \exp\left(\frac{V_{oc}}{n \times Vt}\right) - 1 \quad (3)$$

Ток насыщения,

$$I_o = I_s \times \left(\frac{T_r}{T}\right)^3 * e^{\frac{Eg \times q}{n \times K} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_r}\right)} \quad (4)$$

Шунтирующий ток,

$$I_{sh} = \frac{V * \frac{Np}{Ns} + I * R_s}{R_{sh}} \quad (5)$$

Ток диода,

$$I_d = I_o * Np * \exp\left(\frac{V + I * R_s}{\frac{Ns}{Np} + \frac{I * R_s}{Np}}\right) \quad (6)$$

Ток нагрузки

$$I = (I_{ph} * Np) - I_d - I_{sh} \quad (7)$$

Солнечная батарея, выбранная для имитации фотоэлектрической батареи, содержит 36 солнечных элементов, соединенных последовательно в каждом модуле [22-24].

## 2. Алгоритм ТММ

Солнечный модуль всегда работает при определенной температуре и освещенности, и эта конкретная точка, в которой работает солнечный модуль или солнечная батарея, известна как рабочая точка. В случае изменения освещенности меняются графики как ВАХ, так и V-P. Итак, нам нужно изменить эту рабочую точку, чтобы отслеживать ТММ (точку максимальной мощности). ТММ (отслеживание точки максимальной мощности) — это набор кодов, которые в основном используются в солнечных (фотоэлектрических) массивах для

максимизации производимой выходной мощности фотоэлектрической системы путем отслеживания ТММ [25-27].

## 3. Метод отслеживания точки максимальной мощности при восхождении на вершину

Большинство предыдущих методов проектирования ТММ для решения проблем нахождения локальной максимальной выходной мощности путем регулирования выходного напряжения массива фотоэлектрических модулей заключались в измерении производной  $dP/dV$  и использовании обратной связи для обнуления этой величины.  $P$  — выходная мощность массива фотоэлектрических модулей и напряжение массива  $V$  фотоэлектрических модулей. В большинстве приложений преобразователи постоянного тока в постоянный и инверторы постоянного тока в переменный с PWM используются в качестве интерфейса питания между фотоэлектрическими батареями и нагрузками. Рабочий цикл переключения или коэффициент заполнения является управляющей переменной таких систем. Таким образом, одним из вариантов этих методов является прямое использование рабочего цикла преобразователя режима переключения или инвертора в качестве параметра управления ТММ и принудительное нулевое значение  $dP/dD$ , где  $P$  — выходная мощность массива фотоэлектрических модулей, а  $D$  — рабочий цикл переключения. Это так называемый метод отслеживания точки максимальной мощности с восхождением на вершину [28-30].

На рис.2 показана упрощенная блок-схема алгоритма. Каждый коэффициент заполнения определяется путем сравнения текущего значения мощности и заданного значения. Если  $dP > 0$ , то сделайте  $dD > 0$ . А если  $dP < 0$ , то сделать  $dD < 0$ . «а», показанный на рис. 2, представляет собой шаг приращения рабочего цикл [31].

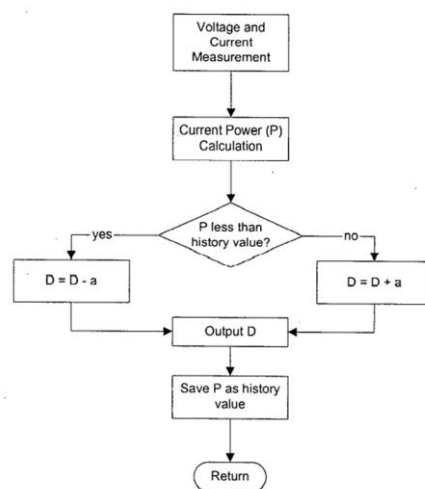
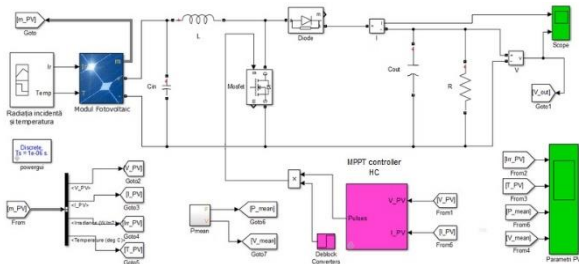


Рис. 2. Блок-схема алгоритма управления MPPT при восхождении на вершину  
Fig. 2. Block diagram of the MPPT control algorithm when climbing a hill

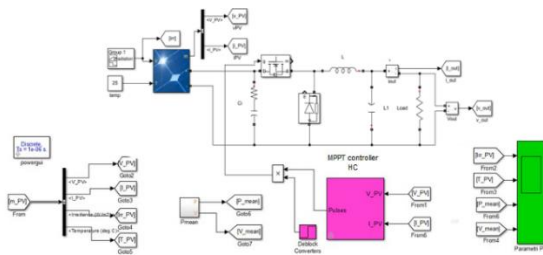
**Модуляция и результат**

Схема разработана в MATLAB/Simulink. Когда преобразователи постоянного тока добавляются на уровень фотоэлектрических модулей, во всей фотоэлектрической системе уменьшается выработка энергии. Для достижения максимальной эффективности каждого преобразователя используются различные комбинации сопротивления, конденсатора и катушки индуктивности. На рис. 3 показана топология форсирования, на рис. 4 топология buck, а на рис. 5 топология buck-boost.



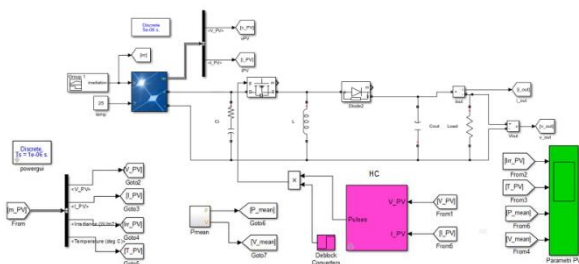
**Рис. 3.** Simulink повышающего преобразователя постоянного тока в MATLAB

**Fig. 3.** Simulink DC Boost Converter in MATLAB



**Рис. 4.** Понижающий преобразователь постоянного тока Simulink в MATLAB

**Fig. 4.** Simulink DC Buck Converter in MATLAB



**Рис. 5.** Преобразователь Simulink DC Buck-boost в MATLAB

**Fig. 5.** Simulink DC Buck-boost Converter in MATLAB

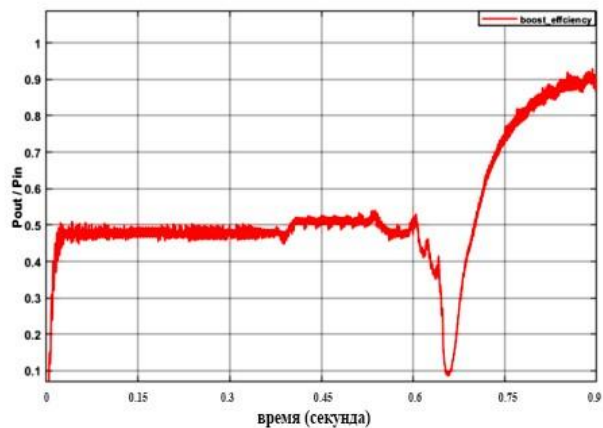
Схемы моделируются в течение 0,9 секунды в MATLAB/Simulink. Значения каждой переменной рассчитываются по графикам каждой переменной. Среднеквадратичное значение (СЗ) вычисляется из каждого графика. График эффективности также получается с использованием этой формулы эффективности в MATLAB/Simulink, т.е.  $(P_{out}/P_{in}) * 100$ .

Во-первых, блок области видимости используется в Simulink для получения графика,

затем мы использовали инструмент статистики сигналов, чтобы получить среднеквадратичное значение данного графика. График каждой переменной получается путем моделирования схем в MATLAB/Simulink. Используя значения переменных, рассчитывается эффективность. После моделирования значения входного тока и входного напряжения берутся и передаются множителю для расчета входной мощности, и аналогичным образом выходная мощность рассчитывается по полученным данным, с использованием осциллографа получаются графики мощностей, из которых мы вычислили среднеквадратичное значение как входной, так и выходной мощности. Взяв соотношение выходной и входной мощности, рассчитывается КПД.

$$\text{КПД} = \left( \frac{P_{out}}{P_{in}} \right) * 100\% \quad (8)$$

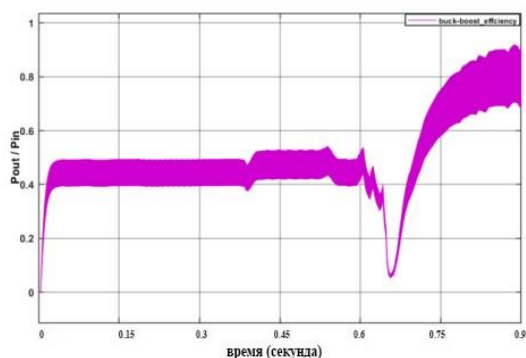
На рис. 6 показана кривая зависимости эффективности повышающего преобразователя от времени. По оси x отложен КПД (соотношение выходной и входной мощности), а по оси Y - время в секундах. Из графика видно, что сначала он начинается с нуля и поднимается до 0,5 за короткий промежуток времени, затем остается почти постоянным до 0,67 секунды, а затем поднимается до 0,9 за 0,9 секунды. Когда среднеквадратичное значение графика рассчитывается с использованием Simulink, оно оказывается равным 0,56. Эффективность повышающего преобразователя рассчитывается по уравнению 7, она составляет почти 87%.



**Рис. 6.** КПД повышающего преобразователя  
**Fig. 6.** the efficiency of the Boost converter

На рис. 7 показана кривая зависимости эффективности от времени топологии форсирования. На рисунке показано соотношение выходной и входной мощности и время в секундах. Из графика видно, что кривая начинается с нуля и поднимается до 0,5 за короткий промежуток времени, затем остается почти неизменной до 0,6 секунды, затем падает до 0,1 за очень короткий промежуток времени, а затем поднимается до 0,8 за

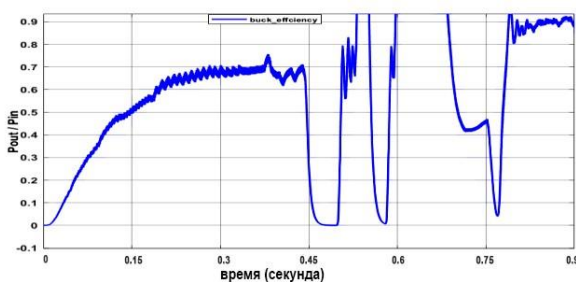
0,9 секунды. Когда среднееквадратичное значение графика рассчитывается с помощью Simulink, оно оказывается равным 0,0033 и КПД повышающе-понижающего преобразователя составляет почти 78%.



**Рис. 7.** КПД повышающе-понижающего преобразователя

**Fig. 7.** The efficiency of the Buck-boost converter

На рис. 8 показана кривая зависимости эффективности от времени для понижающей топологии. Колебание на этом графике происходит с большой скоростью. Он начинается с нуля, затем достигает 0,7 за 0,28 секунды, затем снижается до 0 за 0,45 секунды, затем достигает 0,9 за 0,53 секунды, затем снова падает до нуля за очень короткий период, а затем колеблется между 0 и 0,9, и, наконец, достигает насыщения около 0,9 за 0,9 секунды. Когда среднееквадратичное значение графика рассчитывается с помощью Simulink, оно оказывается равным 3,4. КПД повышающе-понижающего преобразователя составляет почти 93%



**Рис. 8.** КПД понижающего преобразователя

**Fig. 8.** The efficiency of the Buck converter

После моделирования каждой схемы в MATLAB/Simulink наблюдается среднееквадратичное значение изменения кривой, показанной на графике (эффективность в зависимости от времени). Значение RMS может быть получено с помощью инструмента статистики сигнала, присутствующего в Simulink. Полученные среднееквадратичные значения составляют 3,2 для понижающего преобразователя, 0,61 для повышающего преобразователя и 0,0034 для повышающе-понижающего преобразователя. Из этих результатов мы также можем сказать, что преобразователь Buck имеет самое высокое

среднееквадратичное значение, поэтому он является наиболее эффективным.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этой работе в MATLAB/Simulink смоделированы повышающий преобразователь и buck-boost-преобразователь постоянного тока с замкнутым контуром для автономной солнечной фотоэлектрической энергосистемы, а результаты оцениваются и сравниваются при изменении солнечной освещенности в различных случаях. Результаты моделирования напряжения, тока и мощности для входной и выходной стороны повышающего и buck-boost-преобразователя представлены на рисунках. Результаты подтверждают, что, если мы отбросим эффективность и рассмотрим колебания напряжения при переменной освещенности, как это происходит в большинстве практических случаев, мы можем ясно видеть, что фазное напряжение, создаваемое повышающим преобразователем, содержит гораздо больше колебаний, чем фазное напряжение, создаваемое понижающим преобразователем boost-конвертером. В результате предложенных в представленной работе решений эту задачу можно решить.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Анализ производительности гибридных фото-ветроэлектрических установок / Абд Али, Лаит Мохаммед А., Ф. М. Аль-Руфай, Б. А. Якимович, В. В. Кувшинов // Энергетические установки и технологии. 2019. Т. 5, № 2. С. 61–68.
2. Абдали Л.М. АНАЛИЗ И моделирование автономной фотоэлектрической системы с использованием среды matlab/simulink / Л.М. Абдали, Х.А. Исса, К.А. Али, В.В. Кувшинов, Э.А. Бекиров // Строительство и техногенная безопасность. — 2021. — № 21(73). — с.97-105. — DOI: <https://doi.org/10.37279/2413-1873-2021-21-97-105>.
3. Абдали Л.М., Аль-Руфай Ф.М., Якимович Б.А., Кувшинов В.В., Исса Х.А., Мохаммед Х.Д. Комбинированная энергетическая установки для преобразования солнечной и ветровой энергии. международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2020» – Севастополь: СевГУ, 2020. с.21-28
4. Интеллектуальная система управления, используемая при работе ветроэлектрических установок /Л. М. Абдали, Ф. М. Аль-Руфай, Б. А. Якимович, В. В. Кувшинов // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2021. Т. 24, № 1. С.102–112. DOI: [10.22213/2413-1172-2021-1-102-112](https://doi.org/10.22213/2413-1172-2021-1-102-112)
5. Абд Али Лаит Мохаммед, Хайдер Абдулсахиб Исса. Разработка элементов Smart Grid для оптимизации режимов районных сетей // Молодой ученый. 2014. № 8. С. 117–120.

6. Kuvshinov V.V., Abdali L.M., Kakushina E.G. Studies of the PV Array Characteristics with Changing Array Surface Irradiance. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 223-228. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19040054>.
7. Kuvshinov, V.V., Abd Ali, L.M., Morozova, N.V. et al. Experimental Studies on Receiving Surfaces of Flat Solar Collectors. *Surf. Engin. Appl. Electrochem.* vol. 57, no. 6, pp.715–720 (2021).<https://doi.org/10.3103/S1068375521060089>
8. Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A. Lyamina, N.V. Some Results of a Study of Wave Energy Converters at Sevastopol State University. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 256-259. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19040029>.
9. Volodgin S.V., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Analysis of Various Energy Supply Scenarios of Crimea with Allowance for Operating Modes of Solar Power Planta. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 229-234. <https://doi.org/10.3103/S0003701X1904008X>.
10. Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A., Abd Ali L.M. An Offshore Wind-Power-Based Water Desalination Complex as a Response to an Emergency in Water Supply to Northern Crimea. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 260-264. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19040030>.
11. Guryev V.V., Yakimovich B.A., Abd Ali L.M. Improvement of Methods for Predicting the Generation Capacity of Solar Power Plants: the Case of the Power Systems in the Republic of Crimea and City of Sevastopol. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 242-246. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19040042>.
12. Ahmed Mohammed H., Anssari M.O.H., Abd Ali L.M. Electricity generation by using a hybrid system (photovoltaic and fuel cell). *J. Eng. Appl. Sci.*, 2019, no. 14, pp. 4414-4418. [doi.org/10.3923/jeasci.2019.4414.4418](https://doi.org/10.3923/jeasci.2019.4414.4418).
13. Layth Mohammed Abd Ali, Haider Ahmed Mohammed and HusamAbdulhuseinWahhab. A Novel Design of 7-Level Diode Clamped Inverter. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2019, no. 14, pp. 3666-3673. [doi.org/10.36478/jeasci.2019.3666.3673](https://doi.org/10.36478/jeasci.2019.3666.3673).
14. Kuvshinov V.V., Kolomiychenko V.P., Kakushkina E.G. Storage System for Solar Plants. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 3, pp. 153-158. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19030046>.
15. Использование гибридных ветро-солнечных систем для энергоснабжения города Аль-Наджаф в Республике Ирак / Л. М. Абдали, М. Н. Аль-Малики, К. А. Али, Б. А. Якимович, Н. В. Коровкин, В. В. Кувшинов, С. И. Соломенникова // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2022. Т. 25, № 3. С. 82–91. DOI: 10.22213/2413-1172-2022-3-82-91
16. Abd Ali, L. M., Al-Rufae, F. M., Kuvshinov, V. V. et al. Study of Hybrid Wind–Solar Systems for the Iraq Energy Complex. *Appl. Sol. Energy*, 2020, vol. 56, no. 4, pp. 284–290. <https://doi.org/10.3103/S0003701X20040027>.
17. Кувшинов, В., Абдали, Л., Морозова, Н., Крит, Б., Аль-Руфай, Ф., & Исса, Х. (2021). Экспериментальные исследования приемных поверхностей плоских солнечных коллекторов. *Электронная обработка материалов*, 57(1), 75-81. DOI: 10.5281/zenodo.4456690
18. Оценка потенциала ветроэнергетических ресурсов на юге Ирака / Ф. М. Аль-Руфай, Л. М. Абдали, В. В. Кувшинов, Б. А. Якимович // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2020. Т. 23, № 3. С. 105–113. DOI: 10.22213/2413-1172-2020-3-105-113
19. Abd Ali L.M., Ahmed Mohammed H., Anssari M.O.H. Modeling and simulation of tidal energy. *J. Eng. Appl. Sci.*, 2019, no. 14, pp. 3698-3706. DOI: 10.36478/jeasci.2019.3698.3706
20. Абдали Л. М., Аль-Руфай Ф. М., Исса Х.А., Мохаммед Х.Д., Якимович Б.А., Моделирование и контроль энергии ветра, X Всероссийская научно-практическая конференция "Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов", - Томск: ТПУ, 22–24 апреля 2020 г., с. 14-19.
21. Абдали Л.М. Моделирование параметров управления интегрированной системой солнечной генерации и накопления энергии / Л.М. Абдали, В.В. Кувшинов, Э.А. Бекиров, Ф.М. Аль-Руфай // Строительство и техногенная безопасность. — 2020. — № 18(70). — с.133-142. — DOI: 10.37279/2413-1873-2020-18-133-142.
22. Issa H.A., Mohammed H.J., Abdali L.M., Al Bairmani A.G., Ghachim M. Mathematical Modeling and Controller for PV System by Using TMMT Algorithm. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2021, vol. 24, no. 1, pp. 96-101. DOI: 10.22213/2413-1172-2021-1-96-101
23. Belkaid, A.; Colak, I.; Kayisli, K. Implementation of a modified P&O-TMMT algorithm adapted for varying solar radiation conditions. *Electr. Eng.* 2017, 99, pp. 839–846.
24. Оптимизация аккумулирования энергии в гибридных системах ветроэнергетики и фотовольтаики / Л. М. Абдали, Ф. М. Аль-Руфай, Б. А. Якимович, В. В. Кувшинов // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2020. Т. 23, № 2. С. 100–108. doi: 10.22213/2413-1172-2020-2-100-108.
25. Дизайн и моделирование гибридной фотоэлектрической ветровой системы для уличного освещения, подключенной к сети / Л. М. Абдали, Х. А. Исса, М. Н. Аль-Малики, Ф. М. Аль-Руфай // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов : Сборник докладов II Международной научно-практической конференции, Томск, 26–28 апреля 2022 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2022. – С. 379-388
26. Исса Х. А., Абдали Л. М., Аль-Руфай Ф. М., Мансор М. Ф., Мохаммед Х.Д., Моделирование фотоэлектрического модуля с помощью программы matlab, X Всероссийская научно-практическая конференция "Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов", Томск: ТПУ, 22-24 апреля 2020, с.116-122.
27. Analysis study and comparison of different maximum power point techniques for solar photovoltaic systems ABDALI L.M., ISSA H.A., AL-MALI KI

M.N.// Интеллектуальные системы в производстве. – 2022. – Т. 20. – № 3. – С. 104-113. – DOI: 10.22213/2410-9304-2022-3-104-113

28. Абдали, Л. М., Али, К. А., Кувшинов, В. В., Бекиров, Э. А., & Коровкин, Н. В. (2021). техника искусственного интеллекта для производства энергии и автоматизация управления гибридной солнечно-ветро-дизельной энергетической системой. *Строительство и техногенная безопасность*, (22 (74)), 91-100.

29. Моделирование режимов работы фотоэлектрической системы / Л. М. Абдали, Х. Д. Мохаммед, Б. А. Якимович, В. В. Кувшинов, Н. В. Коровкин, Д. Ф. Бордан // *Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова*. 2021. Т. 24, № 3. С. 78–87. DOI: 10.22213/2413-1172-2021-3-78-87

30. Моделирование и управление системой ветроэнергетики, связанной с сетью с использованием синхронного генератора с постоянными магнитами (СГПМ) / Л. М. Абдали, Ф. М. Аль-Руфай, Х. А. Исса, Б. А. Якимович // *Актуальные проблемы электроэнергетики: Сборник научно-технических статей конференции*, Нижний Новгород, 17 декабря 2021 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. П.Е. Алексеева, 2021. – С. 299-308. – DOI: 10.46960/44170389\_2021\_299

31. Layth M. Abd Ali, L M., Ali, Q. A., Klačková, I., Issa, H. A., Yakimovich, B. A. and Kuvshinov, V. (2021) Developing a thermal design for steam power plants by using concentrating solar power technologies for a clean environment. *Acta Montanistica Slovaca*, Volume 26 (4), 773-783 DOI: <https://doi.org/10.46544/AMS.v26i4.14>

## REFERENCES

1. AbdAli Laith Mohammed A., Al-Rufae F.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. [Performance Analysis of Hybrid Photo-Wind Turbines]. *Energeticheskkiyeustanovki i tekhnologii*, 2019, vol. 5, no. 2, pp. 61-68 (in Russ.).

2. Abdali L.M. ANALYSIS AND SIMULATION OFF-GRID PV PANELS BY USING MATLAB / SIMULINK ENVIRONMENT / L.M. Abdali, H.A. Issa, Q.A. Ali, V.V. Kuvshinov, E.A. Bekirov // *Construction and industrial safety*. — 2021. — № 21(73). — p.97-105. — DOI: <https://doi.org/10.37279/2413-1873-2021-21-97-105>.

3. Abdali L.M., Al-Rufai F.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V., Issah.A., Mohammed h.D. [The generation power plant by using the combined of solar and wind power]. *mezhdunarodnoynauchno-prakticheskoykonferentsii «Ekologicheskaya, promyshlennaya i energeticheskayabezopasnost' – 2020» – Sevastopol': SevGU., 2020. pp. 21-28(in Russ.)*.

4. Abdali L.M., Al-Rufae F.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Smart Control System for the Wind Energy Networks // *Vestnik IzGTU imeni M.T. Kalashnikova*. - 2021. - Vol. 24. - N. 1 - P. 102-112. doi: 10.22213/2413-1172-2021-1-102-112

5. Abd Ali Laith Mokhammed, KhayderAbdulsakhibIssa. [Development of Smart Grid elements for optimizing regional network modes]. *Molodoyuchenyy*, 2014, vol. 8, pp. 117-120 (in Russ.).

6. Kuvshinov V.V., Abd Ali L.M., Kakushina E.G. Studies of the PV Array Characteristics with Changing Array Surface Irradiance. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 223-228. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19040054>.

7. Kuvshinov, V.V., Abd Ali, L.M., Morozova, N.V. et al. Experimental Studies on Receiving Surfaces of Flat Solar Collectors. *Surf. Engin. Appl.Electrochem.* vol. 57, no. 6, pp.715–720 (2021).<https://doi.org/10.3103/S1068375521060089>

8. Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A. Lyamina, N.V. Some Results of a Study of Wave Energy Converters at Sevastopol State University. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 256-259.<https://doi.org/10.3103/S0003701X19040029>.

9. Vologdin S.V., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Analysis of Various Energy Supply Scenarios of Crimea with Allowance for Operating Modes of Solar Power Planta. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 229-234. <https://doi.org/10.3103/S0003701X1904008X>.

10. Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A., Abd Ali L.M. An Offshore Wind-Power-Based Water Desalination Complex as a Response to an Emergency in Water Supply to Northern Crimea. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 260-264. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19040030>.

11. Guryev V.V., Yakimovich B.A., Abd Ali L.M. Improvement of Methods for Predicting the Generation Capacity of Solar Power Plants: the Case of the Power Systems in the Republic of Crimea and City of Sevastopol. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 242-246. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19040042>.

12. Ahmed Mohmmmed H., Anssari M.O.H., Abd Ali L.M. Electricity generation by using a hybrid system (photovoltaic and fuel cell). *J. Eng. Appl. Sci.*, 2019, no. 14, pp. 4414-4418. <doi.org/10.3923/jeasci.2019.4414.4418>.

13. Layth Mohammed Abd Ali, Haider Ahmed Mohammed and HusamAbdulhuseinWahhab. A Novel Design of 7-Level Diode Clamped Inverter. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2019, no. 14, pp. 3666-3673. <doi.org/10.36478/jeasci.2019.3666.3673>.

14. Kuvshinov V.V., Kolomiychenko V.P., Kakushkina E.G. Storage System for Solar Plants. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 3, pp. 153-158. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19030046>.

15. Abdali L.M., Al-Maliki M.N., Ali Q.A., Yakimovich B.A., Korovkin N.V., Kuvshinov V.V., Solomennikova S.I. [Using Hybrid Wind-Solar Power Systems for the Al-Najaf City in Iraq]. *Vestnik IzGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2022, vol. 25, no. 3, pp. 82-91 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2022-3-82-91

16. Abd Ali, L. M., Al-Rufae, F. M., Kuvshinov, V. V. et al. Study of Hybrid Wind–Solar Systems for the Iraq Energy Complex. *Appl. Sol. Energy*, 2020, vol. 56, no. 4, pp. 284–290. <https://doi.org/10.3103/S0003701X20040027>.

17. Kuvshinov, V.V., Morozova, N. V., Abd Ali, L. M., Krit, B. L., Al-Rufae, F. M., & Issa, H.A. (2021). Experimental studies for the receiving surfaces of solar flat collectors. *Электронная обработка материалов*, 1(57), 75–81. <http://doi.org/10.5281/zenodo.4456690>
18. Al-Rufae F.M., Abdali L.M., Kuvshinov V.V., Yakimovich B.A. Assessment of the Potential of Wind Energy Resources in Southern Iraq // *Vestnik IzGTU imeni M.T. Kalasnikova*. - 2020. - Vol. 23. - N. 3 - P. 105-113. doi: 10.22213/2413-1172-2020-3-105-113.
19. Abd Ali L.M., Ahmed Mohammed H., Anssari M.O.H. Modeling and simulation of tidal energy. *J. Eng. Appl. Sci.*, 2019, no. 14, pp. 3698-3706. doi.org/10.3923/jeasci.2019.3698.3706.
20. Abdali L.M., Al-Rufai F.M., IssaKh.A., Mohammed Kh.D., Yakimovich B.A., [Modeling and control of wind energy], X Vserossiyskayanauchno-prakticheskayakonferentsiya "Nauchnayainitsiativainostrannykhstudentov i aspirantovrossiyskikhvuzov", - Tomsk: TPU, April 22-24, 2020, p. 14-19(in Russ.).
21. Abdali L.M. Development of the simulation and control system for an integrated solar energy generation and storage / L.M. Abdali, V.V.Kuvshinov, E.A. Bekirov, F.M. Al-Rufae // *Construction and industrial safety*. — 2020. — № 18(70). — p.133-142. — DOI: 10.37279/2413-1873-2020-18-133-142.
22. Fazal, M.R.; Kamran, M.; ul Haq, I.; Abbas, Z.; Ayyaz, M.N.; Mudassar, M. Modified Perturb and Observe TMMT algorithm for partial shading conditions. *Int. J. Renew. Energy Res.*2019, 9,721-731.
23. Belkaid, A.; Colak, I.; Kayisli, K. Implementation of a modified P&O-TMMT algorithm adapted for varying solar radiation conditions. *Electr. Eng.* 2017, 99, 839–846.
24. Abdali L.M., Al-Rufae F.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Optimization of Energy Storage in Hybrid Wind and Photovoltaic Energy Systems // *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*. - 2020. - Vol. 23. - N. 2 - P. 100-108. doi:10.22213/2413-1172-2020-2-100-108.
25. Дизайн и моделирование гибридной фотоэлектрической ветровой системы для уличного освещения, подключенной к сети / Л. М. Абдали, Х. А. Исса, М. Н. Аль-Малики, Ф. М. Аль-Руфай // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов : Сборник докладов II Международной научно-практической конференции, Томск, 26–28 апреля 2022 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2022. – С. 379-388
26. Issa H. A., Abdali L. M., Al-Rufai F. M., Mansor M. F., Mohammed H. D., [Modeling a photovoltaic module using the matlab program].X Vserossiyskayanauchno-prakticheskayakonferentsiya "Nauchnayainitsiativainostrannykhstudentov i aspirantovrossiyskikhvuzov", - Tomsk: TPU, April 22-24, 2020, pp. 116-122 (in Russ.).
27. Анализ различных методов отслеживания точки максимальной мощности при работе солнечных фотоэлектрических систем / Л. М. А. Абдали, Х. А. И. Исса, М. Н. К. Аль-Малики [и др.] // *Интеллектуальные системы в производстве*. – 2022. – Т. 20. – № 3. – С. 104-113. – DOI: 10.22213/2410-9304-2022-3-104-113
28. Abdali L.M. The artificial intelligence technique for the energy generation and administration of the hybrid solar/wind/diesel power system/ L.M. Abdali, Q.A. Ali, V.V. Kuvshinov, E.A. Bekirov, N.V. Korovkin // *Construction and industrial safety*. — 2021. — № 22(74). — p.91-100. — DOI: 10.37279/2413-1873-2021-22-91-100.
29. Abdali L.M., Mohammed H.J., Yakimovich B.A., et al. Modeling the Operating Modes of a Photovoltaic System // *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*. - 2021. - Vol. 24. - N. 3 - P. 78-87. DOI: 10.22213/2413-1172-2021-3-78-87
30. Modeling and control of a wind power system connected to the grid using a synchronous generator with permanent magnets (PMS) / L. M. Abdali, F. M. Al-Rufai, H. A. Issa, B. A. Yakimovich // *Actual problems of the electric power industry: Collection of scientific and technical articles of the conference, Nizhny Novgorod, December 17, 2021*. - Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseeva, 2021. -- S. 299-308. - DOI: 10.46960/44170389\_2021\_299
31. Layth M. Abd Ali, L M., Ali, Q. A., Klačková, I., Issa, H. A., Yakimovich, B. A. and Kuvshimov, V. (2021) Developing a thermal design for steam power plants by using concentrating solar power technologies for a clean environment. *Acta Montanistica Slovaca*, Volume 26 (4), 773-783 DOI: <https://doi.org/10.46544/AMS.v26i4.14>

## STUDY OF DIFFERENT DC/DC POWER CONVERTER FOR PV SYSTEM USING MAXIMUM POWER POINT TRACKING

Issa H.A.<sup>1</sup>, Abdali L. M.<sup>2</sup>, Yakimovich B.A.<sup>3</sup>, Kuvshinov V.V.<sup>4</sup>, Bekirov E.A.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Sevastopol State University, Institute of Nuclear Energy and Industry, 7, Kurchatov Avenue, Sevastopol, 299015, Russia, E-mail: laith\_2210@yahoo.com

<sup>2</sup>Sevastopol State University, Institute of Nuclear Energy and Industry, Kurchatov Avenue, 7, Sevastopol, 299015, Russia, E-mail: hassamal817@gmail.com

<sup>3</sup>Sevastopol State University, Institute of Nuclear Energy and Industry, Kurchatov Avenue, 7, Sevastopol, 299015, Russia, E-mail: yakimovich52@gmail.com

<sup>4</sup>Sevastopol State University, Institute of Nuclear Energy and Industry, Kurchatov Avenue, 7, Sevastopol, 299015, Russia, E-mail: kuvshinov.vladimir@gmail.com

<sup>5</sup>Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky, 295007, Simferopol, Prospect Academic Vernadsky 4, Russia, bekirov.e.a@cfuv.ru

**Abstract:** Maximum power point tracking (MPPT) techniques must be used in photovoltaic (PV) generation systems to maximize the power supplied because the energy produced is constrained by the low efficiency of the solar panels, the variability of weather conditions, and the characteristics of the connected load. The behavior of the power converter must also be taken into account when evaluating the overall performance of a PV system since it serves as the interface between the PV array and the load when an MPPT is being implemented. With the help of a tracking algorithm that regulates the duty ratio of these converters, the two most fundamental non-isolated DC-DC converters could be effectively interfaced for maximum power point tracking (MPPT) in photovoltaic (PV) systems. Here, two well-known DC-DC converter topologies, buck and buck-boost converters have been examined to determine how the converter responds to changing atmospheric characteristics, duty ratio variation (caused by MPPT), and tracking efficiency. The MPPT algorithm must set the system to function at the highest power point while maintaining the best possible performance under a range of insolation and temperature conditions. Results from the PV system under different radiation and temperature circumstances are compared and reviewed, and it is shown that the Buck-Boost combination demonstrated the highest steady-state efficiency and the best transient behavior.

**Subject of research.** Technical equipment for energy production and energy system management. Using an efficient control method for an off-grid photovoltaic system.

**Materials and methods.** use maximum power point tracking (MPPT) techniques to maximize generated power and benchmark three mainstream non-isolated DC converters that can be effectively coupled to maximum power point tracking (MPPT) in photovoltaic (PV) systems with a tracking algorithm for ratio control filling these transducers.

**Results.** The findings indicate that the Buck combination had the optimum steady-state efficiency and transient response.

**Conclusions.** According to the findings, it is evident that the phase voltage produced by a boost converter contains significantly more fluctuation than the phase voltage produced by a buck converter if efficiency is disregarded and voltage fluctuations under variable lighting are taken into account, as is the case in the majority of practical cases. turbo converter.

**Key words:** photovoltaic modules, photovoltaic cell, photovoltaic module, MPPT, Improved incremental conductivity.



УДК 628.12

ИССЛЕДОВАНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКОГО  
АЭРАТОРАТолстой<sup>1</sup> М.Ю., Туник<sup>2</sup> А.А.Иркутский Национальный Исследовательский Технический Университет,  
664074, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
e-mail: <sup>1</sup>tolstoi@istu.edu; <sup>2</sup>alexun@mail.ru.

**Аннотация.** Пневмогидравлическое аэрирование обычно осуществляется путем совместной подачи жидкой и газовой фаз под избыточным давлением в различные устройства, близкие по своим конструкциям к эжекторам и топливным форсункам. Механизм образования пузырьков при пневмогидравлическом аэрировании до сих пор не совсем ясен и поэтому не имеет какой-либо общей теории. Такими устройствами, кроме эжекторов, являются пневматические и гидравлические форсунки. Высокая окислительная способность в сочетании с низкой степенью засоряемости и возможностью регулирования гидродинамики в сооружении делают пневмогидравлические аэраторы (ПГА) перспективными аэрирующими устройствами для процессов биологической очистки сточных вод, благодаря простоте его осуществления, достигаемому качеству аэрации и отсутствию избыточных затрат энергии для его реализации. Это свидетельствует о том, что разработанный ПГА является эффективным и конкурентоспособным и имеет оптимальные размеры для применения в разработанной и исследуемой модели многофункциональной автономной энергоустановке.

**Предмет исследования.** Окислительная способность пневмогидравлического аэратора, разработанного в Иркутском национальном исследовательском техническом университете и имеющего размеры, оптимальные для исследуемой многофункциональной автономной энергоустановки.

**Материалы и методы.** Эксперименты проводились при помощи сконструированного испытательного стенда, в котором проводилось насыщение чистой воды кислородом. Для стенда была специально разработана методика проведения эксперимента.

**Результаты:** Показано, что оптимальная концентрация кислорода  $9,58 \text{ мг/дм}^3$  для процесса окисления органических веществ на модельной среде достигается при расстоянии  $0,1 \text{ м}$  от сопла аэратора температуре среды  $16 \text{ }^\circ\text{C}$ , при этом перемешивающая способность вращающегося ПГА позволяет поддерживать во взвешенном состоянии микроорганизмы активного ила. При данных характеристиках аэратор имеет оптимальные габариты для применения в многофункциональной автономной энергоустановке.

**Выводы:** Имея разработанный аэратор, можно с уверенностью сказать, что он позволяет без применения дополнительных энергоёмких установок насыщать жидкость кислородом воздуха с одновременным её перемешиванием, благодаря чему растворённый кислород более эффективно распространяется по всему объёму и поддерживает микроорганизмы во взвешенном состоянии. Это позволяет считать его более эффективным и конкурентоспособным среди прочих устройств для аэрации жидкости и рекомендовать его для внедрения на канализационных очистных станциях и в сооружениях биологической очистки сточных вод. Важным моментом является то, что его габаритные параметры оптимальны для применения в автономных установках для очистки и утилизации сточных вод, а также в многофункциональной автономной энергоустановке.

**Ключевые слова:** Очистка сточных вод, пневмогидравлическая аэрация, *clostridium acetobutylicum* VKPM-B-4786, клостридии, растворимость кислорода, активный ил, многофункциональная автономная энергоустановка.

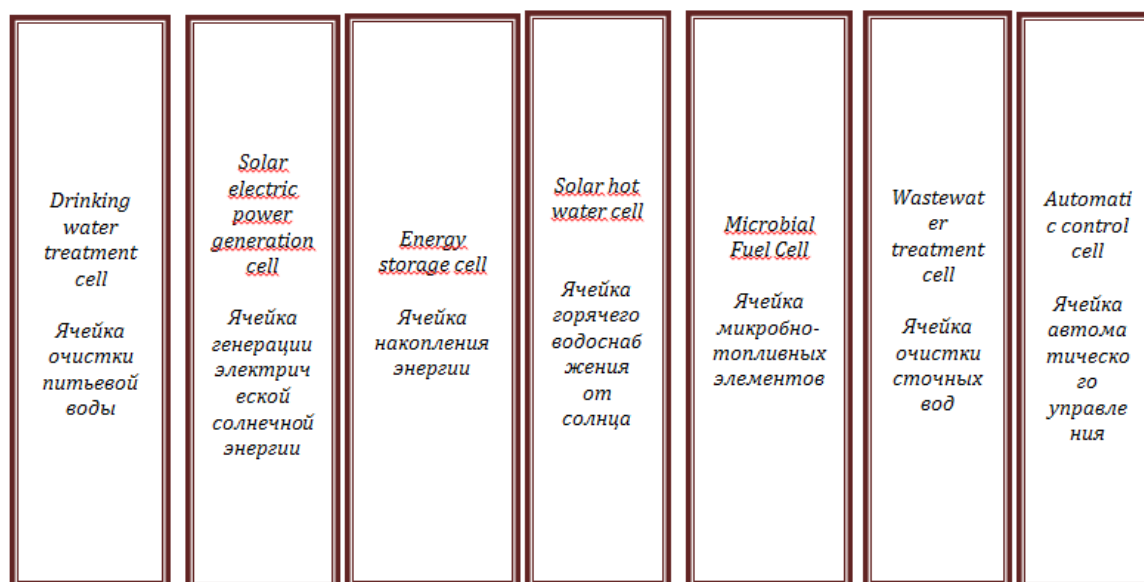
## ВВЕДЕНИЕ

Многофункциональная автономная энергоустановка, разработанная в Иркутском национальном исследовательском техническом университете, позволяет обеспечить горячее водоснабжение, электроснабжение и очистку сточных вод отдельных домов, жилых посёлков и туристических комплексов, расположенных, в том числе в водоохраных зонах, рекреационных и особо охраняемых природных территориях [1-2]. Применение возобновляемых источников энергии позволит получить экологически чистую генерацию тепловой и электрической энергии, а также обеспечить очистку сточных вод, в рамках требований к природоохраным зонам [3, 4].

Энергоустановка может составлять из себя комбинацию различного оборудования, которая

зависит от требований конечного потребителя, от природных условий зоны расположения объекта, от экологических и санитарных требований, применяемых к объектам, а также от доступных источников энергии. Она может включать в себя солнечные коллекторы и панели, ветрогенераторы, тепловой насос, микробно-топливные элементы, очистную и водоподготовительную установки, и даже дизельный или бензиновый генератор в случае, когда возобновляемые источники энергии не смогут справиться с нагрузкой. Один из вариантов многофункциональной автономной энергоустановки представлен на рис. 1.

В установке имеется современная система автоматизации, позволяющая обеспечить эффективное взаимодействие всех инженерных систем, из которых состоит установка, а также полноценный мониторинг и диспетчеризацию.



**Рис. 1.** Многофункциональная автономная энергоустановка, состоящая из 7 ячеек  
**Fig. 1.** Multifunctional independent power station consisting of 7 cells

Все элементы многофункциональной энергоустановки взаимодействуют между собой. Так, например, ячейки, генерирующие электрическую энергию, помимо потребителя, снабжают электроэнергией собственные элементы, такие как насосы, компрессоры, а также системы автоматизации и управления.

Рассмотрим ячейку системы жизнеобеспечения для очистки сточных вод.

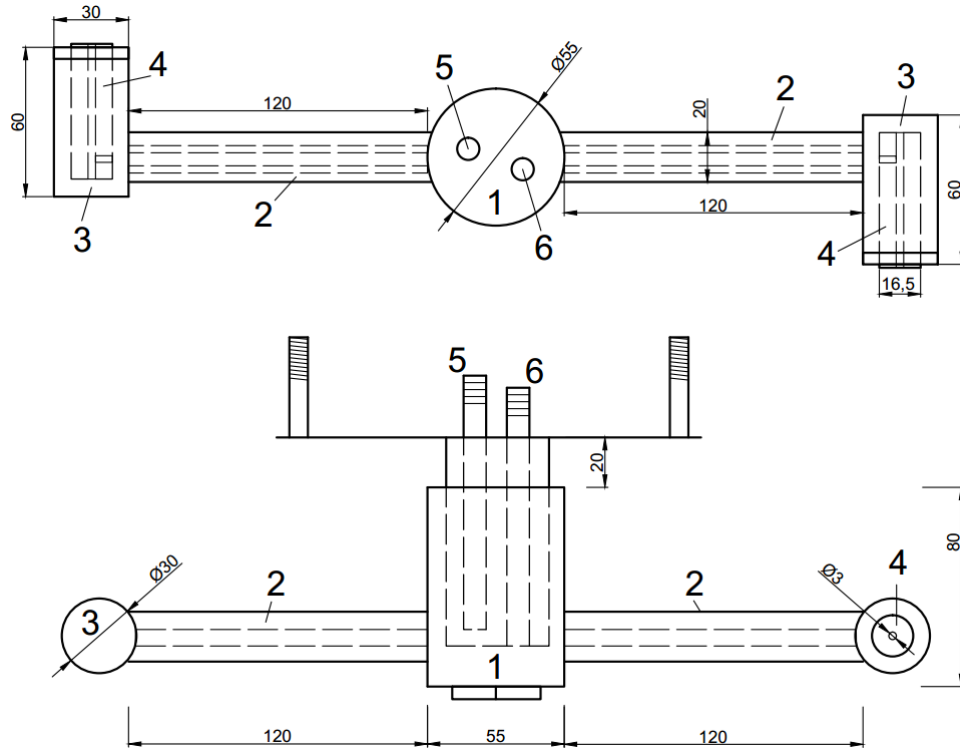
Ячейка очистки сточных вод данной установки (рис. 1) работает за счёт использования микроорганизмов, перерабатывающих органические загрязнители воды. Для поддержания жизнедеятельности микроорганизмов используется вращающийся пневмогидравлический аэратор (рис. 2), который равномерно распределяет кислород в среде их обитания, при этом за счёт своей конструкции данный аэратор вращается только под действием выпускаемой им пневматической струи большого давления, не затрачивая при этом электроэнергию («Струйная аэрация» под редакцией Ю.В. Воронова. [5]). Соединение подводящих патрубков жидкости и газа с корпусом производится посредством подшипника скольжения. Для предотвращения смешивания газа с жидкостью в корпусе аэратора применяются сальники. Струю воздуха большого давления при этом создают компрессоры, также являющиеся частью установки, в свою очередь получающие электроэнергию от аккумуляторных батарей через электропровода.

Очистная установка также служит источником осадка, необходимого для функционирования микробно-топливных элементов [6-10] со штаммом *Clostridium acetobutylicum* VKPM-B-4786. Представленные ранее исследования [11-13] показали, что наиболее эффективной питательной

средой для данного элемента является именно жидкая среда для Клостридий [14-15]. В связи с этим исследования, приведённые ниже, направлены на решение нескольких задач: обеспечение эффективного процесса сточных вод, получение необходимого осадка и определение наиболее оптимального размера ячейки очистки сточных вод.

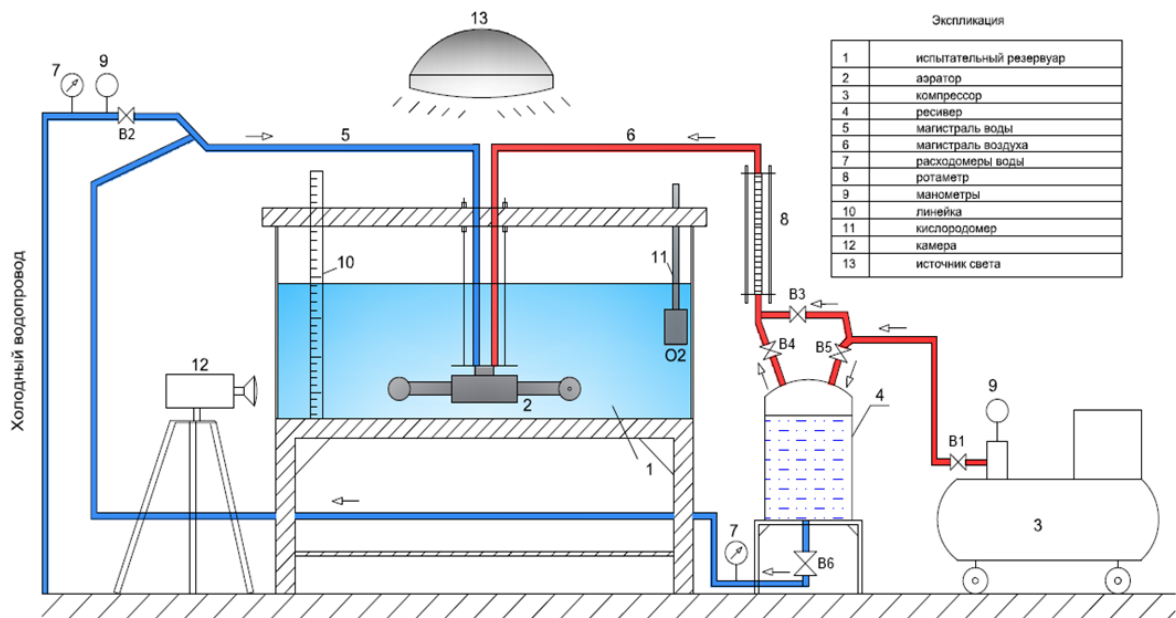
Выбор оптимальных размеров ячеек является одним из важнейших вопросов при разработке многофункциональной энергоустановки, учитывая ограниченность размеров самого энергоконтейнера. В связи с этим габариты самого пневмогидравлического аэратора также имеют большое значение. В Иркутском национальном исследовательском техническом университете было разработано несколько аэраторов разных размеров. Однако предварительные расчёты показали, что только один из вариантов имеет оптимальные размеры, при этом его окислительная способность достаточна для выживания Клостридий. Следующим шагом было экспериментальное подтверждение расчётных значений окислительной способности аэратора на экспериментальном стенде.

Стенд для испытания пневмогидравлического аэратора (рис. 3) состоит из следующего оборудования: испытательный резервуар (1) из двойного стекла; аэратор (2) погруженный в резервуар, закрепленный болтовым соединением; компрессор (3) для подачи воздуха в аэратор, соединенный с ресивером (4); магистрали воды (5) и воздуха (6) с запорной и регулирующей арматурой; измерительные приборы – расходомеры воды (7) и воздуха (ротаметр) (8), манометры (9), линейка для измерения диаметра пузырьков (10), кислородомер (11), съёмочная аппаратура для видеорегистрации испытаний (12), источник света (13).



**Рис. 2.** Пневмогидравлический вращающийся аэратор:  
1 – корпус; 2 – штанга; 3 – камера смешения; 4 – сопло;  
5 – патрубок подвода газа; 6 – патрубок подвода жидкости

**Fig. 2.** Pneumohydraulic rotating aerator:  
1 – frame; 2 – rod; 3 – mixing chamber; 4 – nozzle;  
5 – gas supply pipe; 6 – liquid supply pipe



**Рис. 3.** Лабораторный испытательный стенд  
**Fig. 3.** Laboratory test bench

**Исследования аэрации жидкости при моделировании процесса потребления (питания) активного ила**

Растворенный кислород находится в природной воде в виде молекул  $O_2$ . На его содержание в воде влияют две группы противоположно направленных

процессов: одни увеличивают концентрацию кислорода, другие уменьшают ее.

К числу первых относятся поглощение кислорода из атмосферы, выделение кислорода водной растительностью в процессе фотосинтеза и поступление в водоемы с дождевыми и снеговыми водами, которые обычно пересыщены кислородом.

В артезианских водах все эти факторы практически не действуют и поэтому кислород в таких водах отсутствует. В поверхностных же водах содержание кислорода меньше теоретически возможного в силу протекания процессов, уменьшающих его концентрацию, а именно: потребления кислорода различными организмами, брожения, гниения органических остатков, реакций окисления и т.п.

Относительное содержание кислорода в воде, выраженное в процентах его нормального содержания, и называется степенью насыщения кислородом. Этот параметр зависит от температуры воды, атмосферного давления и уровня минерализации.

Концентрация кислорода определяет величину окислительно-восстановительного потенциала и в значительной мере направление и скорость процессов химического и биохимического окисления органических и неорганических соединений. Содержание кислорода в поверхностных водах служит характеристикой оценки качества поверхностных вод.

Для энергоконтейнера отвод сточных вод и их состав соответствует хозяйственно-бытовым стокам, где содержание кислорода относительно мало.

Проведение экспериментов для исследовательской установки позволит получить наиболее реальные геометрические размеры пневмогидравлического аэратора и определить

зависимость растворенного кислорода от среза сопла вращающегося пневмогидравлического аэратора, что приведет к увеличению окислительной способности аэратора.

Наиболее распространенным методом экспериментального определения окислительной способности аэратора и связанных с ней параметров эффективности работы является насыщение кислородом чистой воды, предварительно обескислороженной введением сульфита натрия в присутствии хлористого кобальта.

Согласно учебному изданию «Водоотведение и очистка сточных вод» под редакцией Ю.В. Воронова [16], соотношение массы сульфита натрия и растворённого кислорода составляет 8:1, то есть на «связывание» 1 мг O<sub>2</sub> необходимо 8 мг Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>. В упрощённой форме эту зависимость можно выразить формулой (1):

$$m = 8 \cdot C_0 \cdot V \quad (1)$$

где  $C_0$  – начальная концентрация растворённого кислорода, мг/дм<sup>3</sup>;

$V$  – объём обескислороживаемой воды, дм<sup>3</sup>.

Соль кобальта в качестве катализатора не вводилась, поскольку время подготовки к эксперименту было достаточным, чтобы реакция успела осуществиться.

До начала проведения опыта производился контрольный замер кислорода в воде оксиметром в течение 1 минуты, температуры воды, а также комнатные показания термометра и барометра.

Полученные при проведении эксперимента данные представлены в таблице 1, по которой рассчитываются искомые параметры. На рисунке 4 представлена диаграмма измерений и расчетов растворимости кислорода

**Таблица 1.** Результаты измерений и расчетов растворимости кислорода

**Table 1.** Results of oxygen solubility measurements and calculations

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Время проведения опыта t, сек	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
Объем аэрируемой жидкости V, дм <sup>3</sup>	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
Количество сульфита натрия m, г	14,18	14,31	14,28	14,29	14,21	14,33	14,25	14,17	14,18	
Мощность двигателя компрессора N, кВт	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	
Расход воды по водосчетчику Q <sub>ж</sub> , дм <sup>3</sup>	1,8	2,1	1,8	2,3	2,4	2,3	2,6	2,6	2,6	
Расход воздуха по ротаметру Q <sub>г</sub> , дм <sup>3</sup>	23,31	23,67	23,48	36,62	36,44	36,53	50,18	50,12	50,14	
Давление в системе P, МПа	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	
Концентрация растворенного кислорода, мг/дм <sup>3</sup>	C <sub>0</sub> до опыта	8,86	8,95	8,93	8,93	8,88	8,94	8,92	8,84	8,85
	C <sub>1</sub> в начале опыта	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	C <sub>2</sub> в конце опыта	5,50	5,55	5,53	5,90	5,92	5,93	6,35	6,36	6,37

Продолжение таблицы 1  
Continuation of table 1

Температура воздуха Т, °С	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Температура воды Т <sub>ж</sub> , °С	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Текущее атмосферное давление Р <sub>о</sub> , мм рт.ст.	721	721	721	721	721	721	721	721	721
Нормальная концентрация растворенного кислорода в воде при атм. давлении 760 мм рт. ст. С <sub>с</sub> (760), мг/дм <sup>3</sup>	9,58	9,58	9,58	9,58	9,58	9,58	9,58	9,58	9,58
Предел насыщения воды кислородом при текущем атм. давлении С <sub>с</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	9,08	9,08	9,08	9,08	9,08	9,08	9,08	9,08	9,08
Объёмный коэффициент массопередачи кислорода k, ч <sup>-1</sup>	58,58	59,47	58,11	66,53	66,93	66,73	75,85	76,08	76,32
Окислительная способность ОС, гО <sub>2</sub> /ч	106,32	107,95	107,27	120,75	121,47	121,12	137,67	138,07	138,52
Средняя окислительная способность, гО <sub>2</sub> /ч	107,19			121,12			138,09		
Эффективность, гО <sub>2</sub> /кВт*ч	151,88	154,18	153,25	172,48	173,53	173,02	196,66	197,27	197,88
Средняя эффективность, гО <sub>2</sub> /кВт*ч	153,12			173,02			197,27		
Соотношение жидкость-газ Q <sub>ж</sub> :Q <sub>г</sub>	12,4	11,9	12,5	16,7	15,7	16,7	20,0	20,1	20,2
Среднее соотношение Q <sub>ж</sub> :Q <sub>г</sub>	12			16			20		

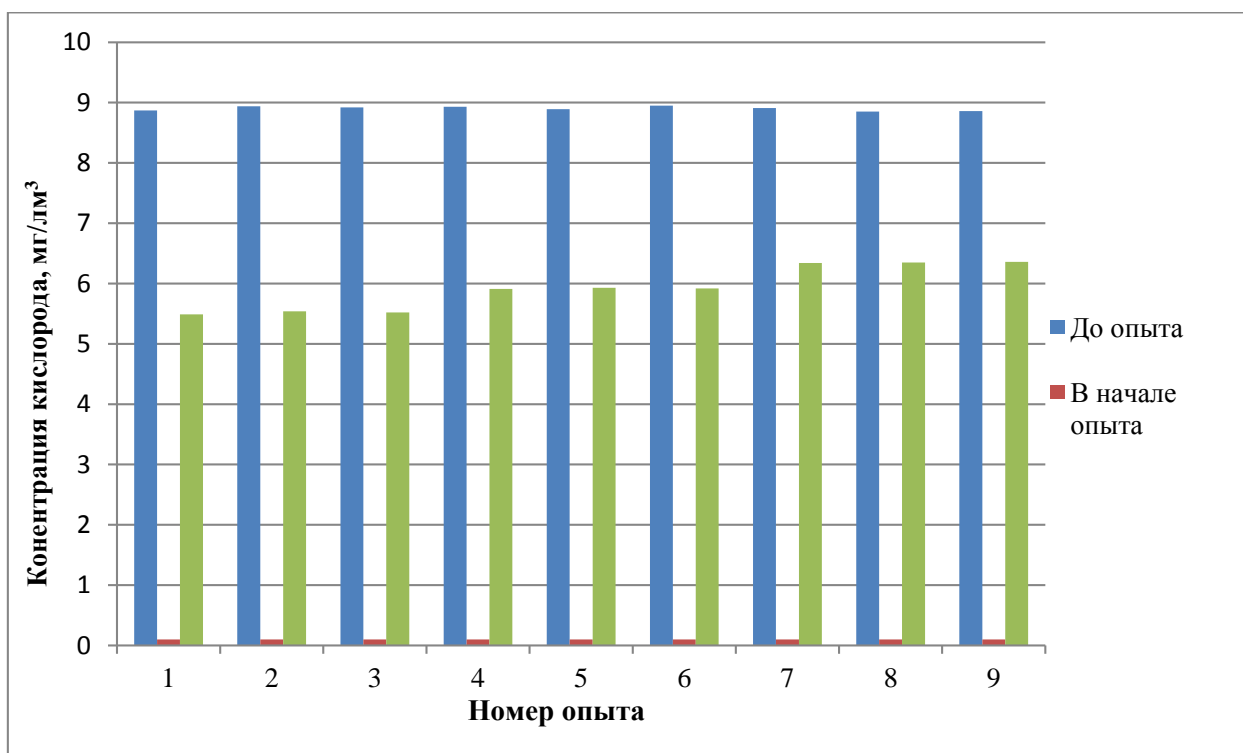


Рис. 4. Диаграмма измерений и расчетов растворимости кислорода  
Fig. 4. Diagram of oxygen solubility measurements and calculations

Окислительная способность – скорость растворения кислорода воздуха в единице объема жидкости, гО<sub>2</sub>/ч. Определяется по формуле (2) («Водоотведение и очистка сточных вод» под редакцией Ю.В. Воронова [16]):

$$ОС = (k \cdot C_s \cdot V) / 1000, \quad (2)$$

где k – объёмный коэффициент массопередачи, ч<sup>-1</sup>;

C<sub>s</sub> – предельная концентрация растворённого кислорода в воде при данном атмосферном давлении, температуре воды и её солёности, мг/дм<sup>3</sup>;  
V – объём аэрируемой воды, дм<sup>3</sup>.

Объёмный коэффициент массопередачи характеризует скорость процесса массопередачи, т.е. растворения кислорода воздуха в жидкости.

Зависит от конструктивных особенностей, геометрических размеров аппарата и физико-химических свойств газовой и жидкой фаз. Определение этой величины является основной задачей моделирования процесса массообмена.

По формуле (3) («Водоотведение и очистка сточных вод» под редакцией Ю.В. Воронова [16]) определяется объёмный коэффициент массопередачи, ч-1:

$$k = [\ln(C_s - C_1) - \ln(C_s - C_2)] / [t * (1 + 0,02 * (T_{ж} - 20))], \quad (3)$$

где  $C_1, C_2$  – соответственно начальная и конечная концентрация растворенного кислорода, мг/дм<sup>3</sup>;

$t$  – время опыта, ч (60 сек / 3600 сек = 0,017 ч);

$T_{ж}$  – текущая температура воды, °С;

$C_s$  – предельная концентрация растворённого кислорода при данном атмосферном давлении, мг/дм<sup>3</sup>. Определяется по формуле (4) («Водоотведение и очистка сточных вод» под редакцией Ю.В. Воронова [16]):

$$C_s = C_{s(760)} * P_a / 760, \quad (4)$$

где  $P_a$  – атмосферное давление по барометру, мм. рт. ст.;

$C_{s(760)}$  – нормальная концентрация растворённого кислорода в воде, мг/дм<sup>3</sup>, при атмосферном давлении 760 мм рт. ст. в зависимости от температуры воды.

Одной из важнейших технологических параметров оценки работы аэратора является эффективность аэрации – количество электрической энергии, необходимое для внесения и растворения кислорода воздуха в единице объема жидкости.

По формуле (5) («Водоотведение и очистка сточных вод» под редакцией Ю.В. Воронова [16]) рассчитывается эффективность аэратора, гО<sub>2</sub>/кВт\*ч:

$$\Xi = OC/N, \quad (5)$$

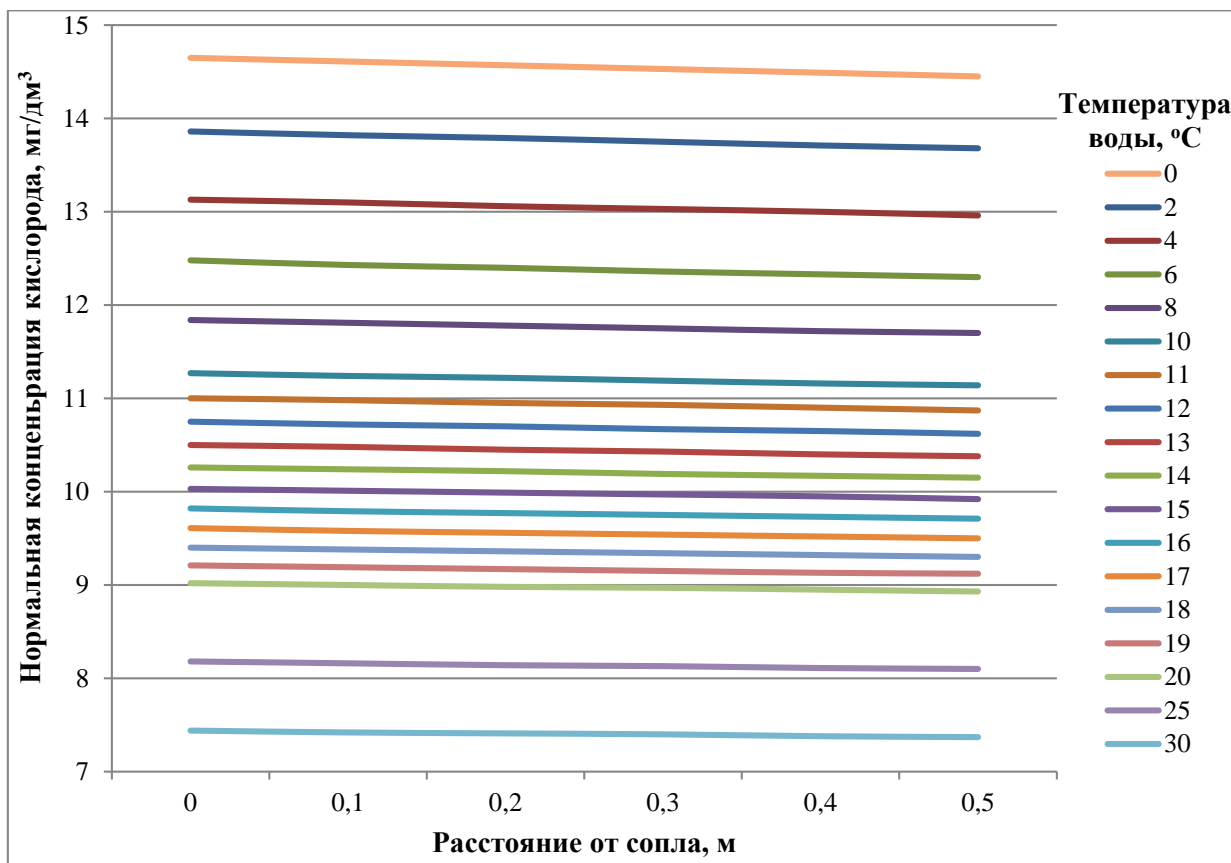
где  $N$  – энергия, затраченная двигателем компрессора, кВт.

В таблице 2 и на рисунке 5 представлены результаты эксперимента, согласно которому оптимальная концентрация кислорода для процесса окисления органических веществ на модельной среде в размере 9,58 мг/дм<sup>3</sup> и достигается при расстоянии 0,1 м от сопла аэратора и температуре среды 17 С°.

**Таблица 2.** Зависимость нормальной концентрации кислорода (мг/дм<sup>3</sup>) в воде от температуры, при атмосферном давлении 760 мм рт. ст

**Table 2.** Dependence of normal oxygen concentration (mg/dm<sup>3</sup>) in water on temperature, at atmospheric pressure of 760 mm Hg. st

Температура воды, T °С	Расстояние от сопла, м					
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0	14,64	14,62	14,58	14,52	14,48	14,46
2	13,87	13,83	13,78	13,74	13,72	13,68
4	13,14	13,11	13,05	13,02	13,00	12,97
6	12,47	12,44	12,41	12,37	12,32	12,31
8	11,85	11,82	11,77	11,74	11,73	11,71
10	11,26	11,25	11,21	11,18	11,17	11,15
11	11,01	10,99	10,96	10,94	10,91	10,86
12	10,76	10,73	10,71	10,68	10,64	10,61
13	10,51	10,47	10,45	10,42	10,41	10,39
14	10,27	10,25	10,23	10,18	10,18	10,16
15	10,04	10,02	9,98	9,96	9,94	9,93
16	9,81	9,79	9,78	9,76	9,74	9,70
17	9,62	<b>9,58</b>	9,55	9,53	9,52	9,51
18	9,41	9,39	9,35	9,34	9,33	9,31
19	9,22	9,18	9,16	9,14	9,13	9,11
20	9,03	9,01	8,97	8,96	8,94	8,92
25	8,19	8,15	8,13	8,12	8,10	8,11
30	7,45	7,43	7,40	7,41	7,39	7,36

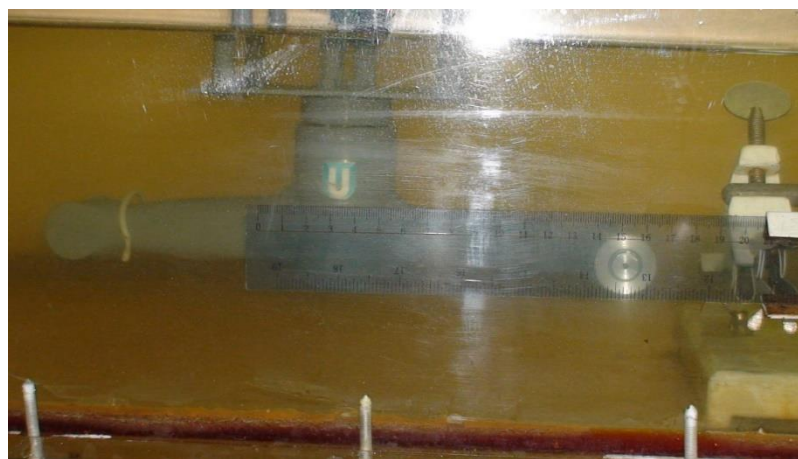


**Рис. 5.** График зависимости нормальной концентрации кислорода (мг/дм<sup>3</sup>) в воде от температуры, при атмосферном давлении 760 мм рт. ст

**Fig. 5.** Dependency graph of normal oxygen concentration (mg/dm<sup>3</sup>) in water on temperature, at atmospheric pressure of 760 mm Hg. st

**Последовательность выполнения опытов:**

1. Заполнение ресивера водопроводной водой до появления её из контрольного крана.
2. Создание в ресивере давления до 5,5 атм. с помощью компрессора.
3. Установка аэратора в резервуар, подсоединение его к воздушной и водяной магистралям (рис.6).



**Рис. 6.** Установленный и подсоединённый пневмогидравлический аэратор. Линейка предназначена для измерения расстояния выброса пузырьков от сопла аэратора.

**Fig. 6.** Installed and connected pneumohydraulic aerator. The ruler is designed to measure the bubbles ejection distance from the aerator nozzle.

4. Установка датчика кислородомера (рис. 7) в резервуар, регулировка и настройка прибора (при необходимости произвести калибровку).
5. Наполнение резервуара водопроводной водой ( $t = 35-400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) до отметки 20 см.

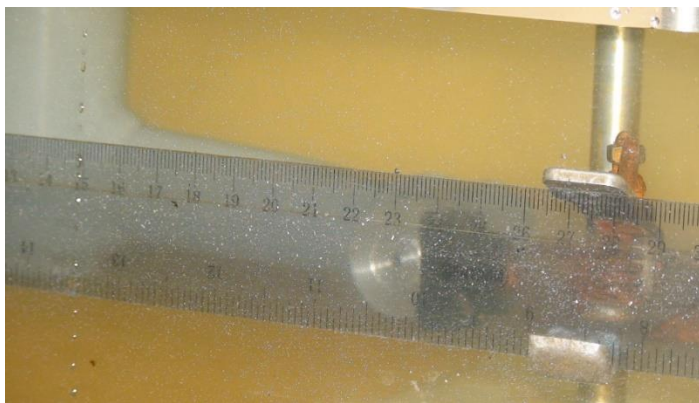


**Рис. 7.** Кислородомер «Эксперт-001-БПК»  
**Fig. 7.** Oxygen meter "Expert-001-BPK"

6. Внесение в протокол эксперимента начальных данных (температура среды, pH, содержание кислорода по кислородомеру, показания расходомера).
7. Запуск аэратора в работу открытием кранов на воздушной и водяной магистралях (рис. 8 и рис. 9).
8. Одновременный запуск автоматической записи показаний кислородомера с интервалом 5 сек.
9. Внесение в протокол эксперимента текущих данных (давление воды, воздуха по манометрам, расход воздуха по ротаметру).
10. Прекращение работы аэратора по истечении необходимого интервала (1 мин) закрытием кранов на воздушной и водяной магистралях.
11. Остановка автоматической записи показаний кислородомера.
12. Внесение в протокол эксперимента конечных данных (отметка уровня воды в резервуаре, показания расходомера, показания записей кислородомера).
13. Слив воды из резервуара и наполнение его водой заново.
14. Перемещение датчика кислородомера в следующую точку измерения.
15. Создание в ресивере давления до 5,5 атм. с помощью компрессора.
16. Повторение пп. 6 – 15.
17. Экспериментальное определение расстояния от сопла с обеспечением оптимального показателя концентрации кислорода (рис. 10 и рис. 11).



**Рис. 8.** Пневмогидравлический аэратор вращающийся готов к работе  
**Fig. 8.** Pneumohydraulic rotary aerator ready for operation



**Рис. 9.** Измерительная линейка для определения длины факела пузырей  
**Fig. 9.** Measuring ruler for determining the length of the torch of bubbles



**Рис. 10.** Выбранная точка измерения в зависимости от длины факела пузырей  
**Fig. 10.** Selected measuring point depending on the length of the bubble jet



**Рис. 11.** Определенная точка в 10 см при эксперименте вращающегося пневмогидравлического аэратора  
**Fig. 11.** A certain point of 10 cm in a rotating aerator experiment

## ВЫВОДЫ

Растворенный кислород в поступающих на очистные сооружения сточных водах практически отсутствует. Этот показатель – один из определяющих для сооружений аэробной биологической очистки. Имея разработанный аэратор, который вращается за счет энергии пневматической струи, можно с уверенностью сказать, что он позволяет без применения таких дополнительных энергоемких установок, как погружные мешалки с электродвигателями [17], насыщать жидкость кислородом воздуха с

одновременным её перемешиванием, благодаря чему растворённый кислород более эффективно распространяется по всему объёму и поддерживает микроорганизмы во взвешенном состоянии. Размеры установки зависят от показателя растворимости кислорода. При разных давлениях и расходах будут разные соотношения диаметров сопла и длины насадки («Струйная аэрация» под редакцией Ю.В. Воронова. [5]). Описанный методика позволит определить геометрические размеры пневмогидравлического аэратора, а соответственно и ячейки для очистки сточных вод в целом, наиболее оптимальные для размещения в

конструкции многофункциональной автономной энергоустановки.

Полученная последовательность выполнения опытов по определению насыщения кислородом жидкости позволила установить наиболее оптимальный показатель концентрации кислорода для разрабатываемой установки, который составил 9,58 мг/дм<sup>3</sup> в воде от температуры, при атмосферном давлении 760 мм рт. ст. при расстоянии от сопла 0,1 м. Таким образом, данное расстояние является оптимальным по соотношению размер/эффективность.

Это позволяет считать его более эффективным и конкурентоспособным среди прочих устройств для аэрации жидкости. При этом его размеры позволяют применять его как на канализационных очистных станциях в сооружениях биологической очистки сточных вод, так и в автономных установках для очистки и утилизации сточных вод [18-24], а также в многофункциональной автономной энергоустановке.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tunik A.A., Tolstoy M.Y. The Complex Mobile Independent Power Station for the Urban Areas. IOP Conference Series: Material Science and Engineering. 2017; № 262: p. 6. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/262/1/012227>.
2. Tunik A.A., Tolstoy M.Y., Kalashnikov M.P. The complex mobile independent power station for the recreational areas. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020; Volume 408: p. 7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/408/1/012012>.
3. Armstrong R., Wolfram C., de Jong K.P., Gross R., Lewis N.S., Boardman B, Ragauskas A.J., Ehrhardt-Martinez K., Crabtree G., Ramana M.V. The frontiers of energy. Nature Energy. 2016; Volume 1. <https://doi.org/10.1038/nenergy.2015.20>.
4. Tunik A.A., Tolstoy M.Y. Hydraulic optimization of the flat solar collectors SUN 1 and the temperature gradient of the heat carrier in a system of connected solar units. MATEC Web Conferens. 2018; Volume 212: p. 9. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821202007>.
5. Воронов Ю.В., Казаков В.Д., Толстой М.Ю. Струйная аэрация / Научное издание. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. – 216 с.
6. Tam K.T., Pita M., Ornatska M., Katz E. Biofuel cell controlled by enzyme logic network. Approaching physiologically regulated devices Bioelectrochemistry. 2009; № 76: pp. 4-9. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2009.03.008>.
7. El-Eskandarany M.S., Al-Salem S.M., Ali N., Banyan M., Al-Ajmi F. and Al-Duweesh A. From gangue to the fuel-cells application. Scientific Reports. 2020; Volume 10: p. 18. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76503-6>.
8. Slate A.J., Whitehead K.A., Brownson D.A.C., Banks C.E. Microbial fuel cells: An overview of current technology. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2019; Volume 101: pp. 60-81. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.09.044>.
9. Bhargavi G., Venu V., Renganathan S. Microbial fuel cells: recent developments in design and materials. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018; Volume 330: p. 16. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/330/1/012034>.
10. Stom D.I., Konovalova E.Y., Zhdanova G.O., Vyatchina O.F., Tolstoy M.Y. Active sludge and strains isolated from it as bioagents in biofuel cells. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 17, Energy and Clean Technologies. 2017; pp. 19-26. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/42>.
11. Горбунова Ю.О., Цыренов В.Ж., Жданова Г.О., Стом Д.И., Хрони М.Э., Толстой М.Ю., Рябчикова И.А., Фиалков В.А., Купчинский А.Б. и Гоел С. Clostridium acetobutylicum как биоагент в биотопливных элементах// Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. 2018; № 24: сс. 16-24.
12. Zhdanova G.O., Konovalova E.Y., Kashevsky A.V., Stom D.I., Tolstoy M.Y., Fialkow V.A., Kupchinsky A.B., Barbora L., Goswami P., Goel S. Comparative analysis of electrogenic activity of complex microbial preparations in microbial fuel cells. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019; Volume 272, Issue 3: p. 5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/272/3/032161>.
13. Dutta A., Barbora L., Thakuria A., Goswami P., Stom D. Duckweed Assisted Sediment microbial fuel cell for powering small scale devices. Advances in Thermofluids and Renewable Energy. 2022; pp. 503-510. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-3497-0\\_40](https://doi.org/10.1007/978-981-16-3497-0_40).
14. Herman N.A., Kim S.J., Li J.S., Cai W., Koshino H., Zhang W. The industrial anaerobe Clostridium acetobutylicum uses polyketides to regulate cellular differentiation. Nature communications. 2017; 8: p. 10. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01809-5>.
15. Zhang H., Yang P., Wang Z., Li M., Zhang J., Liu D., Chen Y., Ying H. Clostridium acetobutylicum biofilm: Advances in understanding the basis. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2021; Volume 9: p. 9. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.658568>.
16. Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод / Учебное издание: - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009 – 760 с.
17. Баженов В.И. Погружные мешалки, как перспективное направление научно-исследовательских работ / В.И. Баженов, С.М. Божьева // Инженерный вестник. – 2015. – № 7. – С. 6 – 12.
18. Леонтьев А.В., Стом Д.И., Толстой М.Ю., Чижик К.И. Исследование интенсификации процессов флотационной и биологической очистки сточных вод на основе применения модельных стоков// Строительство и техногенная безопасность. 2018; № 11 (63). – С 205 - 212.
19. Yang Y., Wang L., Xiang F., Zhao L., Qiao Z. Activated sludge microbial community and treatment

performance of wastewater treatment plants in industrial and municipal zones. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020; 17(2): p. 15. <https://doi.org/10.3390/ijerph17020436>.

20. Ou D., Li W., Li H., Wu X., Li C., Zhuge Y., Liu, Y.D. Enhancement of the removal and settling performance for aerobic granular sludge under hypersaline stress. *Chemosphere*. 2018; 212: pp. 400 – 407.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.08.096>.

21. Tong J., Tang A., Wang H., Liu X., Huang Z., Wang Z., Zhang J., Wei Y., Su Y., Zhang Y. Microbial community evolution and fate of antibiotic resistance genes along six different full-scale municipal wastewater treatment processes. *Bioresource Technology*. 2019; 272: pp. 489–500. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.10.079>.

22. Dyagelev M.Yu, Pavlov I.I., Nepogodin A.M., Grakhova E.V., Lapina A.A. The review of aeration systems for biological wastewater treatment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; Volume 839: p. 6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/4/042035>.

23. Narayanan C.M., Narayan V. Biological wastewater treatment and bioreactor design: a review. *Sustainable Environment Research*. 2019; 29: p. 17. <https://doi.org/10.1186/s42834-019-0036-1>.

24. Tolstoy M.Y., Belookaya N.V., Tolstoy V.M., Leontyev A.V., Tunik A.A. The multifunctional power container. *Water treatment. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019; Volume 667: p. 14. <https://doi.org/10.1088/1755-899X/667/1/012100>.

## REFERENCES

1. Tunik A.A., Tolstoy M.Y. The Complex Mobile Independent Power Station for the Urban Areas. *IOP Conference Series: Material Science and Engineering*. 2017; № 262: p. 6. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-899X/262/1/012227>.

2. Tunik A.A., Tolstoy M.Y., Kalashnikov M.P. The complex mobile independent power station for the recreational areas. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020; Volume 408: p. 7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/408/1/012012>.

3. Armstrong R., Wolfram C., de Jong K.P., Gross R., Lewis N.S., Boardman B, Ragauskas A.J., Ehrhardt-Martinez K., Crabtree G., Ramana M.V. The frontiers of energy. *Nature Energy*. 2016; Volume 1. <https://doi.org/10.1038/nenergy.2015.20>.

4. Tunik A.A., Tolstoy M.Y. Hydraulic optimization of the flat solar collectors SUN 1 and the temperature gradient of the heat carrier in a system of connected solar units. *MATEC Web Conferenses*. 2018; Volume 212: p. 9. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821202007>.

5. Voronov Y.V., Kazakov V.D., Tolstoy M.Y. Jet aeration / Science edition: - M.: Izdatel'stvo Associacii stroitel'nih vuzov, 2007. – 216 c.

6. Tam K.T., Pita M., Ornatska M., Katz E. Biofuel cell controlled by enzyme logic network. Approaching physiologically regulated devices *Bioelectrochemistry*. 2009; № 76: pp. 4-9. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2009.03.008>.

7. El-Eskandarany M.S., Al-Salem S.M., Ali N., Banyan M., Al-Ajmi F. and Al-Duweesh A. From gangue to the fuel-cells application. *Scientific Reports*. 2020; Volume 10: p. 18. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76503-6>.

8. Slate A.J., Whitehead K.A., Brownson D.A.C., Banks C.E. Microbial fuel cells: An overview of current technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019; Volume 101: pp. 60-81. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.09.044>.

9. Bhargavi G., Venu V., Renganathan S. Microbial fuel cells: recent developments in design and materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; Volume 330: p. 16. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/330/1/012034>.

10. Stom D.I., Konovalova E.Y., Zhdanova G.O., Vyatchina O.F., Tolstoy M.Y. Active sludge and strains isolated from it as bioagents in biofuel cells. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 17, Energy and Clean Technologies*. 2017; pp. 19-26. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/42>.

11. Gorbunova Yu.O., Tsyrenov V.Z., Zhdanova G.O., Stom D.I., Chroni M.E., Tolstoy M.Y., Ryabchikova I.A., Fialkov V.A., Kupchinskiy A.B. and Goel S. Clostridium acetobutylicum as a bioagent in biofuel cells // *Proceedings of Irkutsk state. Series: Biology. Ecology*. 2018; № 24: pp. 16-24.

12. Zhdanova G.O., Kkonovalova E.Y., Kashevsky A.V., Stom D.I., Tolstoy M.Y., Fialkov V.A., Kupchinsky A.B., Barbora L., Goswami P., Goel S. Comparative analysis of electrogenic activity of complex microbial preparations in microbial fuel cells. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019; Volume 272, Issue 3: p. 5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/272/3/032161>.

13. Dutta A., Barbora L., Thakuria A., Goswami P., Stom D. Duckweed Assisted Sediment microbial fuel cell for powering small scale devices. *Advances in Thermofluids and Renewable Energy*. 2022; pp. 503-510. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-3497-0\\_40](https://doi.org/10.1007/978-981-16-3497-0_40).

14. Herman N.A., Kim S.J., Li J.S., Cai W., Koshino H., Zhang W. The industrial anaerobe Clostridium acetobutylicum uses polyketides to regulate cellular differentiation. *Nature communications*. 2017; 8: p. 10. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01809-5>.

15. Zhang H., Yang P., Wang Z., Li M., Zhang J., Liu D., Chen Y., Ying H. Clostridium acetobutylicum biofilm: Advances in understanding the basis. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2021; Volume 9: p. 9. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.658568>.

16. Voronov Y.V. Water disposal and wastewater treatment / Academic edition: - M.: Izdatel'stvo Associacii stroitel'nih vuzov, 2009 – 760 p.

17. Bazhenov V.I. Submersible mixers as a promising area of research / V.I. Bazhenov, S.M. Bozh'eva // Engineering bulletin. – 2015. – № 7. – С. 6. – EDN UHLILH.
18. Leontiev A.V., Stom D.I., Tolstoy M.Y., Chizhik K.I. Investigation of the intensification of flotation and biological wastewater treatment processes based on the application of model straws// Construction and industrial safety. 2018; № 11 (63): pp. 205-212.
19. Yang Y., Wang L., Xiang F., Zhao L., Qiao Z. Activated sludge microbial community and treatment performance of wastewater treatment plants in industrial and municipal zones. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020; 17(2): p. 15. <https://doi.org/10.3390/ijerph17020436>.
20. Ou D., Li W., Li H., Wu X., Li C., Zhuge Y., Liu, Y.D. Enhancement of the removal and settling performance for aerobic granular sludge under hypersaline stress. Chemosphere. 2018; 212: pp. 400 – 407. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.08.096>.
21. Tong J., Tang A., Wang H., Liu X., Huang Z., Wang Z., Zhang J., Wei Y., Su Y., Zhang Y. Microbial community evolution and fate of antibiotic resistance genes along six different full-scale municipal wastewater treatment processes. Bioresource Technology. 2019; 272: pp. 489–500. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.10.079>.
22. Dyagelev M.Yu, Pavlov I.I., Nepogodin A.M., Grakhova E.V., Lapina A.A. The review of aeration systems for biological wastewater treatment. IOP Conference Series: Earth and environmental Science. 2021; Volume 839: p. 6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/4/042035>.
23. Narayanan C.M., Narayan V. Biological wastewater treatment and bioreactor design: a review. Sustainable Environment Research. 2019; 29: p. 17. <https://doi.org/10.1186/s42834-019-0036-1>.
24. Tolstoy M.Y., Belookaya N.V., Tolstoy V.M., Leontyev A.V., Tunik A.A. The multifunctional power container. Water treatment. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019; Volume 667: p. 14. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012100>.

## RESEARCH OF THE PNEUMOHYDRAULIC AERATOR OXIDIZING ABILITY

Tolstoy M. Yu., Tunik A.A.

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

**Abstract.** Pneumohydraulic aeration is usually carried out by joint supplying the liquid and gas phases under excess pressure to various devices. These devices are similar in design to ejectors and fuel injectors. The bubble formation mechanism during pneumohydraulic aeration is still not entirely clear and therefore does not have any general theory. The bubble formation mechanism during pneumohydraulic aeration is still not entirely clear and therefore does not have any general theory. It is possible to answer the difficult question, what is the mechanism of dispersion in a pneumohydraulic aerator, using theoretical studies on similar or close devices, which are pneumatic and hydraulic nozzles, in addition to ejectors. Pneumohydraulic aerators are promising aeration devices for biological wastewater treatment processes because they have high oxidizing capacity, low clogging degree, the ability to control the hydrodynamics in the facility, the simplicity of its creation, high aeration quality and they have no excessive energy costs for its implementation. This indicates that the developed pneumohydraulic aerator is efficient and competitive, and also it has optimal dimensions for using in a multifunctional independent power station, which is developed and investigated ISTU.

**Subject of research.** Investigation of the pneumohydraulic aerator oxidative capacity. This aerator was developed at the Irkutsk National Research Technical University and it has dimensions that are optimal for the investigated multifunctional independent power station.

**Materials and methods.** The experiments were carried out using a designed test bench, where pure water was saturated with oxygen. The experimental technique was specially developed for the stand.

**Results:** It is shown that the optimal oxygen concentration for the process of organic substances oxidation on a model medium, which is 9.58 mg/dm<sup>3</sup>, is achieved at a distance of 0.1 m from the aerator nozzle at an ambient temperature of 16 °C. The mixing capacity of the rotating pneumohydraulic aerator makes it possible to maintain microorganisms in active sludge in suspension. Such characteristics allows the aerator to has optimal dimensions for use in a multifunctional independent power station.

**Conclusions:** Having developed an aerator, it can said that it allows to saturate the liquid with atmospheric oxygen without using of additional energy-intensive installations while simultaneously mixing it. Due to this process the dissolved oxygen spreads more efficiently throughout the volume and maintains the microorganisms in suspension. It makes possible to consider the aerator more efficient and competitive among other devices for liquid aeration and to recommend it for implementation at sewage treatment stations in biological wastewater treatment plants. The important point is aerator dimensions are optimal for use in autonomous stations for wastewater treatment and disposal, as well as in a in a multifunctional independent power station.

**Key words:** wastewater treatment, pneumohidraulic aeration, clostridium acetobutylicum VKPM-B-4786, clostridium, oxygen solubility, activated sludge, multifunctional independents power station.



**Раздел 4. Экологическая безопасность**

УДК. 556.18 + 626/627

**ВЫБОР МЕТОДА ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ВОДОХРАНИЛИЩАМИ ЕСТЕСТВЕННОГО СТОКА КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА**Николенко И.В.<sup>1</sup>, Мельникова Н.С.<sup>2</sup>, Каримов Э.А.<sup>3</sup><sup>1,2</sup> ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского»,

Институт «Академия строительства и архитектуры»,

295493, Республика Крым, г. Симферополь, улица Киевская, 181.

<sup>1</sup> e-mail: nikoshi@mail.ru<sup>3</sup> Симферопольский филиал ГБУ РК «Крыммелиоводхоз»<sup>3</sup> e-mail: karimov\_ervin@mail.ru

**Аннотация.** Представлены подходы к оценке устойчивости систем водоснабжения как условий отсутствия перебоев в подаче воды требуемого качества потребителям с обеспечением эксплуатационного уровня количественных параметров по напорам и подаче. Выполнен сравнительный анализ свойств надежности и устойчивости сложных технических систем. В статье проведена оценка устойчивости систем водоснабжения двух городов Республики Крым с водохранилищами естественного на основе экспертной балльно-индексной системы для двух периодов: засушливый (2020) и водообильный (2022). Определены классы устойчивости водохранилищ, обеспечивающих водой эти города. Проанализированы основные причины потери устойчивости систем водоснабжения. Представлены факторы обеспечения устойчивости систем водоснабжения, которые являются важным аспектом обеспечения безопасного, надежного и эффективного функционирования этих систем.

**Предмет исследования.** Физико-географические, морфометрические и гидрологические признаки водохранилищ естественного стока Крымского полуострова, как факторы влияющие на устойчивость системы водоснабжения

**Материалы и методы.** Выполнен анализ методик определения устойчивости, сбор и обработка основных гидрологических данных водохранилищ естественного стока Крымского полуострова. Проведен анализ условий потери устойчивости систем водоснабжения.

**Результаты.** Определены условия потери устойчивости систем водоснабжения, которые связаны с состоянием водных объектов с учетом внешних воздействий, а также установлены факторы обеспечения устойчивости систем водоснабжения.

**Выводы.** Обеспечение устойчивости систем водоснабжения является сложным и многофакторным процессом, требующим комплексного подхода. Результаты исследования показывают, что балльно-индексную методику можно использовать для общей оценки экологического состояния водных объектов, но она не является универсальным инструментом для анализа систем водоснабжения. Эта методика дает лишь приблизительные данные и не дает полной картины состояния системы. Для получения более точных результатов необходимо проводить детальный анализ системы водоснабжения с учетом общей оценки состояния водных объектов и учитывать все факторы, влияющие на устойчивость системы, а также проводить регулярный мониторинг, контроль качества воды и источников водоснабжения, чтобы своевременно выявлять и устранять возможные проблемы. Только при учете всех факторов и проведении регулярных мероприятий по контролю и мониторингу можно гарантировать безопасность и надежность систем водоснабжения для населения и окружающей среды.

**Ключевые слова:** устойчивость, система водоснабжения, меры по повышению устойчивости, балльно-индексный метод, оценка устойчивости, класс устойчивости.

**ВВЕДЕНИЕ**

Возможности потребления человечеством запасов пресной воды ограничиваются природно-климатическими, антропогенными, техническими, экономическими и многими другими факторами. Увеличение численности населения, изменения социально-бытовых условий и стиля жизни, тенденции развития мировой экономики, сопутствующие этому изменения климата, увеличение антропогенной нагрузки на экосистемы и природные водные объекты, являются причинами ограничений по объемам потребления воды в некоторых регионах мира. Дефицит водных ресурсов, особенно пресной воды, является глобальной мировой проблемой, которая становится одним из современных вызовов человечеству [1, 2]. Перспектива глобального потепления, вызванного накоплением в атмосфере

углекислого газа и других поглощающих тепло газов, вводит в общемировую водную систему новые неуправляемые факторы. Современные тенденции по увеличению периода наблюдений и учету влияния дополнительных факторов, которые ранее не наблюдались или не учитывались, приводит к изменениям представлений о стационарности природно-климатических процессов как основополагающей концепции, согласно которой гидрологические системы изменяются и колеблются в пределах известного набора границ на основе многолетних наблюдений [3, 4].

В некоторых регионах Российской Федерации в маловодные периоды возникает дефицит водных ресурсов, который оказывает существенное влияние на режимы хозяйственно-бытового водоснабжения [5]. В эти периоды возникновение дефицита обусловлено следующими причинами: неравномерностью распределения водных ресурсов

по территории страны и ее регионов, ограниченностью регулирующих возможностей водохранилищ для удовлетворения ресурсной потребности всех видов потребителей, нерациональное использование водных ресурсов, в том числе в результате применения экстенсивных методов водопользования, а также отсутствием комплексности и системности в использовании водных ресурсов на отдельных водохозяйственных участках [3, 6, 7]. Также для многих регионов России могут быть неблагоприятными для водопользования изменения режима осадков, обусловленные природно-климатическими и антропогенными факторами. Увеличение неравномерности выпадения осадков означает одновременное усиление угрозы, как наводнений, так и засух в некоторых регионах страны, что существенно влияет на устойчивость систем водоснабжения (СВ) [5].

К регионам России с дефицитом водных ресурсов относится Крымский полуостров что обусловлено природно-климатическими условиями, отсутствием крупных природных источников воды, а также экстенсивными методами водопользования. Поэтому проблема водоснабжения для Крыма является актуальной на протяжении нескольких тысячелетий. В 2020 и 2021 годах регион столкнулся с серьезной проблемой нехватки пресной, в том числе и питьевой воды. В результате, в этот период, часть населенных пунктов Крыма были переведены на график подачи воды, а в крупных водоемких городах была прекращена централизованная подача горячей воды. [3, 8].

Дефицит водных ресурсов является одной из экзистенциальных угроз национальной безопасности стран и их регионов, так как, вода является ресурсом, без которого человек не может жить, обеспечить сельскохозяйственное и промышленное производство, а также экологическую безопасность регионов проживания. Поэтому необходимо оценивать степень обеспечения качественного и устойчивого функционирования СВ, которые представляют собой сложный комплекс взаимосвязанных инженерных устройств и сооружений, обеспечивающих потребителей водой заданного качества в требуемом количестве и при необходимых напорах. СВ предназначены для забора воды из природных источников, ее очистку и бесперебойную подачу потребителям. Поведение такой системы характеризуется открытостью, изменчивостью и стохастичностью, в виду действия различных объективных и субъективных факторов. Под устойчивой работой СВ понимается бесперебойная подача воды потребителям с ее поддержанием в работоспособном состоянии при обеспечении количественных показателей давления и расхода на конструкциях подачи и распределения воды, а также качественных показателей в соответствии с требованиями действующих нормативных документов. Для повышения

надежности СВ и возможности выполнения ремонтных работ коммуникаций, оборудования сооружений они проектируются и эксплуатируются таким образом, чтобы при выходе из строя каких-либо элементов системы их можно было отключить, не нарушая функционирования всей системы. Для этих целей в СВ предусматривают определенное количество резервных агрегатов, переключений и перемычек, позволяющих подавать воду в любой напорный трубопровод и отключать поврежденные сооружения и линии.

Устойчивость СВ во многих научных исследованиях и на практике принимается как условия отсутствия перебоев в подаче воды требуемого качества потребителям с обеспечением эксплуатационного уровня количественных параметров на сооружениях подачи и распределения воды по давлению и расходу [9 -12]. Одно из определений устойчивости СВ представлено как ее способность сохранять свою целостность и установленный режим деятельности с обеспечением оптимального общесистемного параметра по качеству воды при заданной подаче и напоре, для конкретного количества потребителей и времени, в течение которого допускаются перебои в их снабжении водой [9]. В работе [10] предложен комплексный подход к оценке устойчивости работы объектов СВ и предложена процедура вычисления минимально допустимых значений параметров надежности при снижении потребителю подачи воды и напора по сравнению с их расчетными значениями. Принципы устойчивой и надежной работы сооружений при реконструкции объектов СВ рассмотрены в работе [11], а в условиях сокращения водопотребления в работе [12]. Несмотря на эти известные представления, проблема трактовки понятия «устойчивость СВ», вместе с полным описанием его характеристик, остается не полностью установленной. На качество функционирования СВ и их устойчивость существенное влияние оказывает большое количество факторов, в том числе параметры и временные характеристики источников водоснабжения. К примеру, обеспечение высоких показателей надежности СВ и всех ее элементов: водозаборов, сооружений очистки, подачи и распределения, при дефиците воды в источниках водоснабжения либо при существенном изменении ее показателей качества не могут обеспечить устойчивость СВ и требует принятия специальных дополнительных технических, технологических и организационных решений. Рассмотрение устойчивости всей СВ должно быть основано на том, что теоретический анализ в принципе не может быть ограничен одним каким-то типом связей между элементами, например, движением воды в трубопроводах или надежностью силовых агрегатов насосных станций. В пределе анализ устойчивости СВ должен охватить всю совокупность ее элементов: от источника водоснабжения – до водоразборного крана потребителя. Вопрос оценки влияния показателей и характеристик источников

водоснабжения на устойчивость СВ в некотором временном интервале остается малоисследованным.

Вопрос об устойчивости природных экосистем, в том числе водных является одним из важнейших и актуальных в современном мире. Научный интерес к оценке устойчивости и изменчивости природных экосистем различных уровней иерархии, их чувствительности к внешним воздействиям формировался во второй половине прошлого века. Методологические основы оценки устойчивости и экологического благополучия водных объектов связаны с решением проблемы количественного описания большого числа процессов, определяющих способность систем сохранять свои свойства неизменными, или возвращаться в исходное состояние после утраты его на некотором временном интервале.

Водные ресурсы являются частью глобальных систем природопользования, но используются и управляются они на местном и региональном уровнях, поэтому основное влияние на устойчивость СВ оказывают локальные системы управления [2, 5]. Сложность анализа устойчивости СВ состоит в том, что сохранение их свойств и режимов функционирования зависит как от влияния природно-климатических факторов, так и от антропогенных воздействий. Это требует учета и тех, и других в оценочных исследованиях. Кроме этого, успешность получения результата зависит от определения граничных состояний устойчивости СВ между классами исследуемых свойств по совокупности параметров. Для вододефицитных регионов проблемы обеспечения устойчивости СВ являются особо важными и актуальными. Поэтому в данной работе рассмотрены основные подходы по решению проблем устойчивости СВ с учетом основных характеристик водных ресурсов Крыма.

## ОБЗОР И АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Понятие «устойчивость» является одним из основных в науке и технике, так как определяет характеристики одной из главных форм поведения различных сложных систем, в том числе управляемых, физических, социально-экономических, экологических и др. Устойчивость используется для описания стабильности системы, процесса или последовательности их состояний, как свойства и способности противостоять внешним естественным и антропогенным воздействиям, а также внутренним процессам, которые нарушают структуру и нормальное функционирование как всей системы или процесса, так и отдельных их частей в течении определенного отрезка времени. Устойчивость системы рассматривается как два ее взаимосвязанных свойства:

- возможность системы сопротивляться действиям внешней среды и работать в нормальном режиме с заданными допускаемыми отклонениями;
- способность процесса возвращаться к исходному состоянию после прекращения воздействия, которое нарушило это состояние.

В технических системах свойство «устойчивость» является ближайшим пересечением со свойством «надёжность», как качество, развернутое во времени. Надёжность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Поэтому надёжность объекта является комплексным свойством, её оценивают по четырём показателям – безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости или по сочетанию этих свойств в виде комплексных показателей. Надёжность является одной из важнейших характеристик технических систем, которые учитываются на этапах разработки, проектирования и эксплуатации самых различных технических систем. Большая часть понятий, свойств и показателей, связанных с надёжностью систем стандартизированы и имеют однозначные представления. Предметом исследований надёжности являются изучение причин, вызывающих отказы систем, нарушающих работоспособное состояние, определение закономерностей, которым они подчиняются, разработка способов контроля параметров и характеристик, методов расчётов и испытаний, изыскание путей и средств повышения надёжности.

Для технических систем часть понятий, свойств и показателей устойчивости имеют однозначные представления в основном для простых систем, а формально стандартизированы только для отдельных сфер исследований, и находятся в непрерывной стадии развития. При сохранении, поддержании и восстановлении работоспособного состояния техническая система является устойчивой, но при выходе из работоспособного состояния – система теряет устойчивость. При этом потеря устойчивости может обнаружиться как во времени, так и по параметрам функционирования и в пространстве. Поэтому показатели надёжности технических систем позволяют только оценить вероятность устойчивой работы.

Определение главных понятий теории устойчивости для механических систем, получившее широкое признание, представил русский ученый А.М. Ляпунов в конце 19-го века. Согласно его представлению, линия движения (развития) может называться устойчивой только при следующих условиях: система не выйдет за пределы промежутка константности, при определенных ограничениях колебаний, указанных исходя из малого предельного отклонения. Для обеспечения устойчивости определяются ограничения для возмущений, при которых система не выйдет из зоны константности. Противоположность устойчивости — нестабильность. По мнению А. М. Ляпунова, она направлена на определении возмущений, когда

изначально небольшие различия впоследствии могут привести к серьезным расхождениям. Прослеживается обратно пропорциональная зависимость: чем серьезнее воздействие возмущающих факторов, тем труднее сохранить нужные свойства устойчивости.

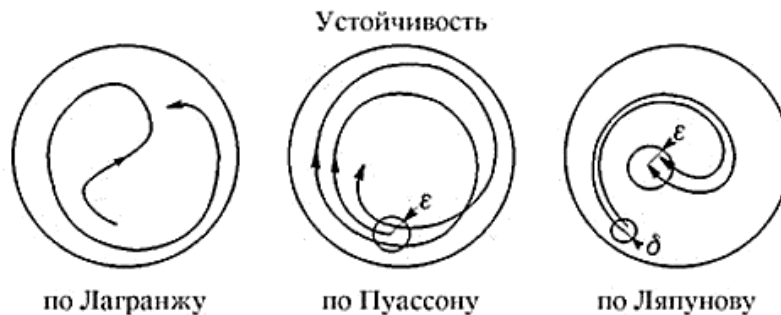
Теория устойчивости движения, после А.М. Ляпунова применялась в разных сферах деятельности аналитически и практически по разным направлениям усилиями многих исследователей. Выяснялись условия устойчивости при больших начальных и постоянно действующих возмущениях, на конечном промежутке времени, при случайных воздействиях и т.д. Исследования систем на устойчивость в общем виде представляются как решения двух основных задач на определенном временном интервале функционирования.:

- оценка устойчивости системы при заданном значении параметров, то есть определение значений параметров, которые приводят к нарушению работоспособности;

- определение диапазонов изменения параметров системы, которые не нарушают ее устойчивость.

Устойчивость движения по Пуассону предполагает, что соответствующая фазовая траектория параметров при времени процесса  $t \rightarrow \infty$

не покидает ограниченной области фазового пространства. Находясь в этой области бесконечно долго, она неизбежно будет возвращаться в сколь угодно малую область нахождения начальной точки. Время возврата может соответствовать периоду или квазипериоду при регулярном движении и представляет собой случайную последовательность, если решение соответствует режиму динамического хаоса. Фактически стационарное состояние называется устойчивым, если небольшие отклонения не выводят систему слишком далеко из области этого стационарного состояния. Стационарное состояние называется асимптотически устойчивым, если малые отклонения от него со временем затухают. Стационарное состояние называется неустойчивым, если малые отклонения со временем увеличиваются. Иногда используют менее строгий критерий, понимая устойчивость как ограниченность решения сверху и снизу, то есть устойчивость по Лагранжу. Для экосистем, представленных неограниченным числом постоянно меняющихся во времени процессов, этот вид устойчивости может быть наиболее характерным. Наглядная иллюстрация устойчивости по Лагранжу, Пуассону и Ляпунову приведена на рис. 1.



**Рис. 1** Иллюстрация устойчивости по Лагранжу (траектория остается в замкнутой области), по Пуассону (траектория многократно возвращается в  $\epsilon$ -область начальной точки) и по Ляпунову (две близкие на старте траектории всегда остаются близкими).

**Fig. 1** Illustration of Lagrangian stability (the trajectory remains in a closed region), Poisson stability (the trajectory repeatedly returns to the  $\epsilon$ -region of the starting point) and Lyapunov stability (two trajectories close at the start always remain close).

Для оценки устойчивости сложной технической или природной системы необходимо четко определить условия, действующих на нее внешних и внутренних факторов, постоянство каких ее свойств и диапазона параметров, существенно и в какой мере. Следует также охарактеризовать внешние факторы, а также область допустимых их изменений относительно которых система будет считаться неизменной. В качестве примеров потери устойчивости СВ можно привести условия:

- повышение давления в водопроводной сети выше установленного значения приводит к многочисленным повреждениям и авариям на локальных участках;

- увеличение мутности исходной воды в паводковый период вне "проектной зоны" очистных сооружений вызывает нарушение технологического

процесса ее очистки и инициирует перевод системы водоснабжения на другой источник или режим работы;

- отсутствие заданного уровня воды в источнике водоснабжения.

Подходы к анализу устойчивости СВ на основе системного анализа сформулированы в работе Василенко С.Л., в которых предложено рассматривать всю топологическую совокупность элементов применительно к данной системе: от источника водоснабжения – до потребителя [9]. Под системой обычно понимается объект, который можно определенным образом разделить на взаимодействующие и взаимосвязанные между собой элементы - подсистемы. То есть системой называется некоторая целостность и совокупность элементов, находящихся в определенных связях и

отношениях друг с другом и с внешней средой. С учетом такого подхода, устойчивость СВ – способность системы сохранять свою целостность и режим функционирования, когда количество потребителей и время, в течение которого они не обеспечиваются водой нормативного качества в нужном количестве, не превышают заданной величины отклонения параметров.

Обеспечение устойчивости СВ предусматривает снабжение водой нормативного качества, объема и напора, в том числе и в чрезвычайных ситуациях и условиях, с возможным переводом на другой режим функционирования. Это соответствует общему принципу Ле-Шателье-Брауна: при внешнем воздействии, выводящем систему из состояния устойчивого равновесия, равновесие смещается в сторону противодействия изменению, то есть в направлении, при котором эффект внешнего воздействия ослабляется. Сложность анализа устойчивости СВ состоит в том, что сохранение либо нарушение их свойств и режимов может быть вызвано как естественными причинами, так и антропогенным воздействием. Это требует учета и тех, и других в оценочных исследованиях.

Проблема оценки устойчивости экосистем и входящих в их состав подсистем – одна из важнейших в современной экологии. В работах А.Д. Арманд, В. В. Дмитриева, Примака Е.А., Пузаченко Ю.Г., Светлосанова В.А., Снакина В.В., Фрумина Г.Т. рассматривались методы оценки устойчивости экосистем, в том числе водных объектов и к настоящему времени в литературе накопилось достаточно большое количество различных, часто противоречивых представлений о стабильности и устойчивости экосистем [13 - 19]. Широкий перечень понятий, связанных с устойчивостью водных систем приводится в работах В.В. Дмитриева [14] и Г.Т. Фрумина [19]. Общим для всех подходов анализа проблемы устойчивости экосистем является: наличие природной экосистемы, обладающей определенной структурой и наличие воздействий как природного, так и антропогенного характера, стремящихся либо вывести экосистему из определенных областей, считающихся устойчивыми, либо воздействовать на параметры экосистемы, тем самым в определенных случаях изменяя структуру последней, что тоже соответствует неустойчивости экосистемы [14, 17].

Методологические основы оценки устойчивости и экологического благополучия водных объектов связаны с решением проблемы количественного описания большого числа процессов, определяющих способность систем сохранять свои свойства неизменными, или возвращаться в исходное состояние после утраты его на некотором временном интервале [13, 16]. Следует отметить, что в настоящее время в практике водопользования отсутствует единый, общепринятый метод интегральной оценки неаддитивных свойств экологических систем: устойчивости, экологического благополучия водоема и др.

Работы, по количественной оценке, устойчивости природных экосистем условно разбиты на несколько групп [14, 17]. На основе применения классической теории устойчивости строятся модели природных экосистем с использованием систем дифференциальных уравнений, с последующим изучением устойчивости таких модельных систем к различного рода возмущениям. На таких моделях применяются разработанные в математике различные методы. Основной сложностью применения таких моделей природных экосистем является трудности создания достаточно адекватной действительности математической модели. Для количественной оценки устойчивости природных экосистем также применяется поиск и исследование характеристики, которая адекватно отображает устойчивость всей системы в целом. Несмотря на простоту оценки устойчивости по такой характеристике, основной сложностью является обоснование соответствия и правильности ее выбора для описания устойчивости всей природной экосистемы, а также возможная неоднозначность получаемых решений. Возможен подход, который является синтезом двух рассмотренных, который заключается в следующем: составляется и исследуется устойчивость математической модели в виде системы дифференциальных уравнений, в результате модельных исследований природной экосистемы из ее параметров формируется характеристика, которая адекватно отображает устойчивость изучаемой системы.

Разработка различных методик оценки устойчивости базируется также на более простых индикаторных подходах и индексах состояния, устойчивости, а также моделях-классификациях, подавляющее большинство которых построено на балльном или балльно-индексном подходе [20]. Ценность этих исследований в том, что в них выделяются основные параметры оценки устойчивости, а также предлагаются оценочные шкалы и обозначается весомость отдельных критериев оценивания. Это обуславливает необходимость поиска приемов и разработки методов интегральной оценки неаддитивных свойств сложных природных систем. Под уязвимостью водной экосистемы при индикаторном подходе понимается ее неспособность сохранять квазипостоянными свои свойства и параметры режимов в условиях, действующих на нее внешних и внутренних нагрузок. Устойчивой водной экосистемой, подверженной действиям внешних и (или) внутренних воздействий, называется ее способность сохранить свои свойства и внутренние структурные связи, а также находиться внутри области устойчивого состояния на определенном временном интервале функционирования.

При оценке устойчивости водных объектов необходимо учитывать режимы их функционирования, так как они обуславливаются разными процессами и природными механизмами. Устойчивость водных систем циклического типа, к

которым относятся водохранилища, слабопроточные водоемы, озера, пруды, называется “*адаптационной*”, так как основным свойством такого водного объекта является его способность сохранять исходное состояние или плавно переходить в другое состояние, сохраняя при этом внутренние связи. Устойчивость водных систем циклического типа достигается физико-механическими и химическими процессами переноса, разбавления, сорбции, а также миграции веществ.

Устойчивость водных объектов транзитного типа, к которым относятся реки, сильно проточные водоемы, называется “*регенерационной*”, так как важнейшим их свойством является способность многократно восстанавливать свои свойства, возвращаться в исходное состояние после временного внешнего воздействия. Устойчивость водных экосистем транзитного типа достигается способностью адаптации к воздействиям, как в результате внутренней сопротивляемости под влиянием внешних воздействий, так и за счет способности к биохимическому разложению токсичных соединений и изменению удельных скоростей обменных процессов в экосистеме.

Как указывалось, выше, для оценки устойчивости и уязвимости водных объектов к изменению параметров и режимов функционирования применяются подходы на основе балльно-индексного метода, в основу которого были положены различные классификации А.М. Владимирова, В.В. Снакина, А.Л. Ресина, В.В. Дмитриева и др [15]. Для оценки параметров уязвимости и устойчивости водных экосистем объединены в экспертную балльно-индексную систему, которая учитывает региональные особенности водных объектов и дает возможность в пределах изменения заложенных в них параметров, провести сравнительную оценку уязвимости водных экосистем к воздействию. Если свойства водного объекта различаются по пространству и это дает основание говорить о физико-географическом, гидрологическом, гидрохимическом и гидробиологическом районировании в пределах определенной территории (акватории), то можно провести зонирование водосборной территории или акватории водоема по баллам уязвимости (устойчивости) и выделить наиболее уязвимые и устойчивые его районы.

Методика интегральной оценки устойчивости водоемов к изменению параметров естественного и антропогенного режимов детально разработана в работе Примак Е.А, в которая позволяет выполнить количественную интегральную оценка устойчивости к изменению параметров естественного и антропогенного режимов [15]. Оценки применяются для нахождения количественных значений свойств при анализе экспериментальных данных, а также на этапе построения моделей при определении численных

значений существенных параметров модели, которые численно определяются по экспериментальным данным и статистическими методами. В этом случае речь идет об оценке параметров моделей.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Балльно-индексные системы оценки, с одной стороны содержат, как правило хорошую базу оценочных, квалиметрических шкал, целесообразных для многокритериальных интегральных оценок, с другой - в балльно-индексных подходах данные шкалы не используются в явной форме. В них натуральному значению характеристик соответствует определенное количество баллов, учитываемых на последующих стадиях оценочных построений.

Применим методику балльно-индексных построений на примере оценки уязвимости водоемов [15]. Уязвимые водные экосистемы могут быстро деградировать под воздействием техногенных и антропогенных факторов, теряя свои уникальные природные характеристики. Слабо уязвимые экосистемы могут долго противостоять внешним воздействиям, которые проявляются в изменениях параметров водного объекта, что делает их устойчивыми к внешним нагрузкам и воздействиям. Однако, устойчивость не всегда указывает на экологическое благополучие, хотя уязвимость и стабильность водной экосистемы можно учитывать при оценке ее качества [15].

Оценка уязвимости и/или устойчивости экосистемы к изменению ее свойств является результатом учета большого числа параметров, которые определяют физико-географические и климатические условия экосистемы, а также характер антропогенного влияния. Для проведения оценки используются специальные таблицы, в которых указаны индексы, разряды и баллы для каждого признака оценивания. Последовательное суммирование индексов, разрядов и баллов позволяет получить суммарную балльную оценку водоема. На основе этой оценки определяется класс и подкласс его уязвимости. Класс уязвимости водоема зависит от суммы индексов, разрядов и баллов. Подкласс характеризует степень уязвимости и определяется на основе сочетания различных факторов, таких как качество воды, трофность, антропогенная нагрузка и т.д.

Балльно-индексный метод является рекогносцировочным этапом, который необходим для определения параметров оценки и построения оценочной шкалы. Он помогает определить результаты оценки, но часто не может объективно оценить устойчивость водного объекта.

Для того чтобы наглядно показать ответную реакцию водоемов на воздействующие на него антропогенные изменения, были выбраны 2 периода для оценки параметров водохранилищ естественного стока и их устойчивости: 2020 г. – засушливый; и 2022 г. – водообильный. Для оценки

были выбраны три водохранилища, обеспечивающие водой г. Симферополь, — Аянское, Партизанское и Симферопольское, а также водохранилища для водоснабжения Большой Алушты – Изобильненское, Кутузовское.

В засушливый период (2020 г.) водохранилища естественного стока, обеспечивающие г. Симферополь и г. Алушта:

– по физико-географическим и морфометрическим признакам относятся к 11 разряду;

– по первой группе гидрологических признаков (уровневый и температурный режимы) относятся ко 2 разряду, кроме Кутузовского (1 разряд);

– по второй группе гидрологических признаков (условия водообмена) относятся к 3 разряду, кроме Изобильненского (2 разряд);

– водохранилища естественного стока Крымского полуострова соответствуют II классу качества воды.

Семейство уязвимости – IIIA. Класс водоема обозначен римской цифрой, он отражает физико-географические особенности водоема. Подкласс водоема обозначен заглавными буквами «А» и «Б», он отражает оптимальность условий формирования водности и качества воды. Оптимальными условиями являются не экстремальные условия, для которых сумма разрядов может быть наименьшей («А»), а наиболее благоприятные для формирования водности и качества воды промежуточные условия

(«Б»). Водоемы с благоприятными условиями формирования будут считаться менее уязвимыми по сравнению с водоемами с неблагоприятными условиями. На основании суммы баллов по семейству уязвимости и роду уязвимости по качеству воды получаем, что водохранилища естественного стока относятся к III классу уязвимости, следовательно, обладают средней устойчивостью к изменению параметров естественного и антропогенного режимов.

В водообильный период (2022 г.) водохранилища естественного стока, обеспечивающие г. Симферополь и г. Алушта:

– по физико-географическим и морфометрическим признакам относятся к 11 разряду;

– по первой группе гидрологических признаков (уровневый и температурный режимы) относятся к 1 разряду, кроме Изобильненского (2 разряд);

– по второй группе гидрологических признаков (условия водообмена) относятся к 3 разряду, кроме Изобильненского (2 разряд);

– вода соответствует II классу качества воды.

Семейство уязвимости – IIIA. На основании суммы баллов по семейству уязвимости и роду уязвимости по качеству воды получаем, что водохранилища естественного стока относятся к III классу уязвимости, следовательно, обладают средней устойчивостью к изменению параметров естественного и антропогенного режимов Табл.1.

**Таблица 1.** Оценка устойчивости водохранилищ естественного стока на основе балльно-индексного подхода

**Table 1.** Assessment of the stability of natural runoff reservoirs based on the point-index approach

Этапы оценивания	Разряд водоема									
	Симферопольское вдхр.		Партизанское вдхр.		Аянское вдхр.		Изобильненское вдхр.		Кутузовское вдхр.	
	2020 г.	2022 г.	2020 г.	2022 г.	2020 г.	2022 г.	2020 г.	2022 г.	2020 г.	2022 г.
По физико-географическим и морфометрическим признакам	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
По гидрологическому режиму (уровневый и температурный режим)	2	1	2	1	2	1	2	2	1	1
По гидрологическому режиму (условиям водообмена)	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3
Сумма разрядов	16	15	16	15	16	15	15	15	15	15
Баллы качества воды (оценка уязвимости к загрязнению)	8	8	8	8	8	8	5	5	5	5
<b>Класс уязвимости водоема</b>	<b>III</b>	<b>III</b>	<b>III</b>	<b>III-IV</b>	<b>III</b>	<b>III-IV</b>	<b>III</b>	<b>III</b>	<b>III</b>	<b>III</b>

Полученные результаты показали, что балльно-индексный метод оценки устойчивости водных объектов может применяться для общей оценки их экологического состояния и его нормирования. Однако, эта методика не может являться универсальным методом оценки устойчивости систем водоснабжения. Она может давать только приблизительную оценку и не позволяет получить полную картину состояния системы водоснабжения. Для получения более точной информации о состоянии систем водоснабжения

необходимо проводить более детальные исследования и выполнить анализ системы с учетом общей оценки состояния водных объектов, в том числе экологического.

Анализ условий потери устойчивости СВ, которые связаны с состоянием водных объектов, с учетом внешних воздействий показал, что основными причинами, выводящими эти системы из состояния устойчивого равновесия, являются [5, 7, 21]:

- отсутствие заданного уровня воды в источнике водоснабжения, что не может обеспечить требуемую подачу водозаборных сооружений;

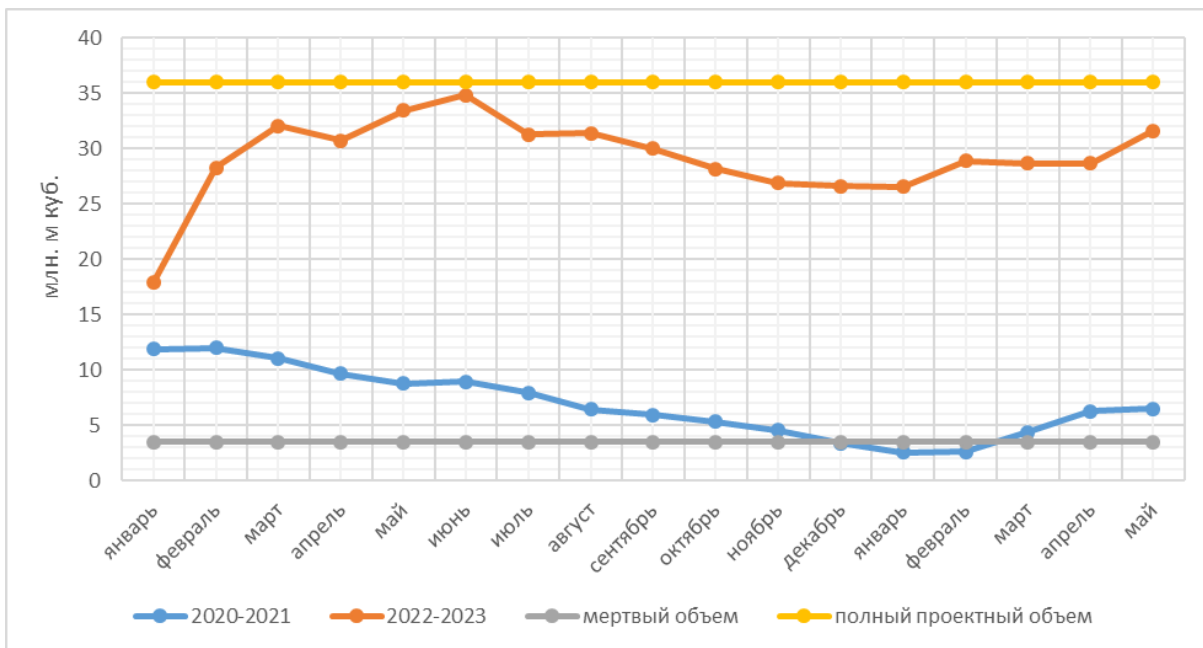
- увеличение ряда характеристик качества исходной воды в паводковый период вне «проектной зоны» очистных сооружений, что может вызывать нарушение технологического процесса ее очистки;

- существенные изменения концентрации загрязняющих веществ, в том числе выявление новых видов загрязнений, на устранение которых не приспособлены существующие схемы водоподготовки;

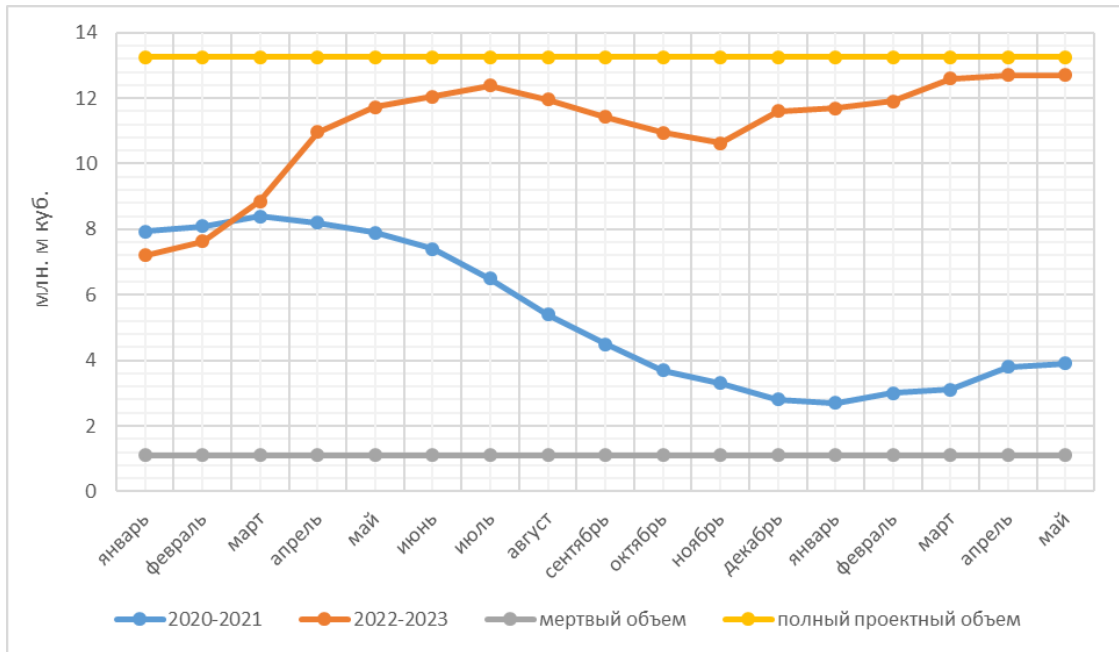
- нарушение работоспособного состояния основных элементов системы водоснабжения, функционально связанных с водными объектами.

На рис. 2, 3 показан годовой ход фактического наполнения водохранилищ естественного стока в 2020 вододефицитном году и в 2022 многоводном году. Из анализа представленных данных следует, что потеря устойчивости систем водоснабжения, для которых водохранилища естественного стока являются источниками происходила в вододефицитный 2020 год по причине отсутствия заданного уровня воды в источнике водоснабжения в периоды, когда фактический объем наполнения

достигал мертвого объема. Как следует из выполненных расчетов по балльно-индексному методу оценки устойчивости водных объектов для Симферопольского и Изобильненского водохранилищ классы уязвимости этих водоемов для рассмотренных периодов не отличались. Следует также отметить, что при одинаковых расчетных классах уязвимости для двух рассмотренных водохранилищ в Симферопольском фактическое наполнение в течении 4 месяцев 2020 – 2021 годов было меньше мертвого объема, а в Изобильненском величина фактического наполнения была выше мертвого объема. При этом мёртвым объёмом водохранилища является его несрабатываемая часть ёмкости, которую практически невозможно использовать для подачи в систему водоснабжения, то есть является признаком потери устойчивости. В результате установлено, что применение балльно-индексного метода оценки устойчивости водных объектов неприменим для оценки устойчивости систем водоснабжения., т.к. данный метод некорректно учитывает изменения в гидрологической обстановке, а его оценки на конечных промежутках времени не существенно отражают состояния устойчивости системы водоснабжения.



**Рис. 2** Годовой ход фактического наполнения Симферопольского водохранилища  
**Fig. 2** The annual progress of the actual filling of the Simferopol reservoir



**Рис. 3** Годовой ход фактического наполнения Изобильненского водохранилища  
**Fig. 3** The annual course of the actual filling of the Izobilnensky reservoir



**Рис. 4.** Структурная схема оценки устойчивости систем водоснабжения  
**Fig. 4.** Structural diagram of the assessment of the stability of water supply systems

Анализ условий потери устойчивости систем водоснабжения с источниками циклического типа позволяет классифицировать их на три уровня:

1 уровень отсутствие заданного уровня воды в источнике водоснабжения;

2 уровень существенные изменения показателей воды источника водоснабжения за счет увеличения концентрации загрязняющих веществ, в том числе выявление новых видов загрязнений, на устранение которых не приспособлены существующие схемы водоподготовки;

3 уровень нарушение работоспособного состояния элементов системы водоснабжения, функционально связанных с водными объектами в случае невозможности восстановления либо их устранение требует значительных периодов времени, которые превышают установленные нормативными документами по надежности систем водоснабжения

В результате устойчивости СВ с источниками из водохранилищ естественного стока можно представить на структурной схеме, показанной на рис. 4.

Устойчивость работы системы водоснабжения может обеспечиваться за счет:

- выполнения инженерно-технических норм во время строительства;
- проведения мероприятий по повышению физической устойчивости (насосных станций, трубопроводов, очистных сооружений и т.д.);
- использования нескольких независимых источников питьевой воды;
- наличия резервных источников питьевой воды на случай чрезвычайной ситуации;
- нейросетевое моделирование процессов и применение автоматизации системы водоснабжения;
- эффективной и надёжной работы станций водоподготовки;
- повышения барьерной роли существующих и проектируемых станций водоподготовки систем водоснабжения, за счет создания адаптивных многопроцессных схем.
- организации подготовки и сопровождения паводкоопасного периода на территории водосборного бассейна;
- комплекса мер обеспечения антитеррористической защищенности водных объектов и систем водоснабжения.

Классификация условий потери устойчивости систем водоснабжения на три уровня позволяет для каждого из них определить условия, действующие внешние и внутренние факторы, область допустимых их изменений относительно которых система будет считаться устойчивой, что позволит обосновывать методы оценки.

## ВЫВОДЫ

Системы водоснабжения могут находиться в условиях чрезвычайных ситуаций и негативного действия природных и техногенных явлений, что требует выбора методов оценки их устойчивости, от которой зависит бесперебойная подача воды потребителям при обеспечении количественных показателей давления и расхода на конструкциях подачи и распределения воды, а также качественных показателей в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

Для сложных технических систем их устойчивость обеспечивается двумя взаимосвязанными свойствами: возможностью сопротивляться действиям внешней среды и работать в нормальном режиме с заданными допустимыми отклонениями либо способностью систем возвращаться к исходному состоянию после прекращения воздействия, которое нарушило это состояние.

Для оценки устойчивости сложных технических или природных систем, которыми являются системы водоснабжения необходимо четко определить условия, действующих на нее внешних и внутренних факторов, постоянство каких ее свойств и диапазона параметров, существенно и в какой мере, а также установить внешние факторы, область допустимых их изменений относительно которых система будет считаться неизменной то есть устойчивой.

При оценке устойчивости водных объектов источников систем водоснабжения необходимо учитывать режимы их функционирования - **адаптационной или регенерационной**, так как они обуславливаются разными процессами и природными механизмами и требуют различных методов оценки.

Проведена оценка устойчивости систем водоснабжения двух городов Республики Крым с водохранилищами естественного на основе экспертной балльно-индексной системы, которая учитывает региональные особенности водных объектов и дает возможность в пределах изменения заложенных в них параметров, провести сравнительную оценку уязвимости водных экосистем к внешним воздействиям.

Полученные результаты показали, что экспертная балльно-индексная система не может являться универсальным методом оценки устойчивости систем водоснабжения, так как представляет только приблизительную оценку и не позволяет получить полную картину состояния устойчивости системы водоснабжения.

Выполнен анализ условий потери устойчивости систем водоснабжения, на основании которого представлены параметры трех уровней потери их устойчивости.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Потребление воды: экологический, экономический, социальный и политический аспекты // М.: Наука, 2006. - 221 с.
2. Postel S. The last oasis. Facing water scarcity. – London: Earthscan Publications Ltd., Worldwatch Institute, 1992. – 226 p.
3. Николенко И.В., Копачевский А.М. Основные направления разработки комплекса мер по решению проблем дефицита воды в Крыму// Строительство и техногенная безопасность. – 2021, №21(73). – С. 147 – 160.
4. Milly C. and etc. Stationarity Is Dead: Whither Water Management?/ С. D. Milly, J. Betancourt, M.Falkenmark, R. M. Hirsch, Z. W. Kundzewicz, D. P. Lettenmaier.// Science 01 Feb 2008: Vol. 319, Issue 5863, pp. 573-574 DOI: 10.1126/science.1151915.
5. В.И. Данилов-Данильян. Водные ресурсы мира и перспективы водохозяйственного комплекса России. — М.: ООО «Типография ЛЕВКО», 2009. — 88 с.
6. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года. Распоряжение Правительства РФ от 27 августа 2009 г. N 1235-р. Электронный ресурс: режим доступа <http://government.ru/docs/10049/>(дата обращения 10.03.2022 г.)
7. Постановление Правительства РФ от 19.04.2012 N 350 (ред. от 31.05.2017) "О федеральной целевой программе "Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах". Электронный ресурс: режим доступа: <http://government.ru/docs/37156/>(дата обращения 10.03.2022 г.)
8. И.В. Николенко, А.М. Копачевский, Э.А. Каримов. Анализ наполнения водохранилищ естественного стока для обоснования путей решения проблем обеспечения водной безопасности Республики Крым и города Севастополя// Водные ресурсы. - 2022, том 49, № 4. - С. 1–16.
9. Василенко С.Л. Устойчивость систем водоснабжения// Интегрированные технологии промышленности. – 2006, №3. – С. 85 – 90.
10. Гальперин Е.М. Определение сниженных минимально-допустимых значений параметров функционирования системы водоснабжения // Вода и экология: проблемы и решения. – 2003. – № 4. – С. 11–16.
11. Бивалькевич А.И., Похил Ю.Н., Никитин А.М. Принципы устойчивого и надежного обеспечения работы систем водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. – 2004. – № 3. – С. 4–6.
12. Принципы обеспечения надежности водопроводной сети в условиях сокращения водопотребления // Водоснабжение и санитарная техника. – 2003. – № 5, ч. 2. – С. 27–31.
13. Арманд, А.Д. Механизмы устойчивости геосистем [Текст]/ А.Д. Арманд// Факторы и механизмы устойчивости геосистем: Сб. науч. работ. -М., 1989. - С. 33 - 46.
14. Дмитриев, В.В. Диагностика и моделирование водных экосистем [Текст] / В.В. Дмитриев. - СПб.: Изд. СПбГУ, 1995. - 215 с.
15. Примак Е. А. Интегральная оценка устойчивости и экологического благополучия водных объектов [Текст]: дис. канд. геогр. наук. – СПб.: 2009. – 188 с.
16. Пузаченко, Ю.Г. Проблемы устойчивости и нормирования [Текст] / Ю.Г. Пузаченко // Структурно-функциональная организация и устойчивость биологических систем: Сб. науч. ст. - Днепропетровск, 1990. - С.122 - 147.
17. Светлосанов В.А. Устойчивость природных систем к природным и антропогенным воздействиям [Текст] / В.А. Светлосанов. – М.: 11-й формат, 2009 - 100 с.
18. Снакин, В.В. Оценка состояния и устойчивости экосистем [Текст] / В.В. Снакин, Р.О. Бутовский, В.Е. Мельченко и др.-М.: ВНИИприрода, 1992. - 127 с.
19. Фрумин Г.Т. Оценка состояния водных объектов и экологическое нормирование [Текст] / Г.Т. Фрумин. - СПб.: Ин-т озераведения РАН, 1998. - 95 с.
20. Дмитриев В.В., Фрумин Г.Т. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. Учебное пособие. Наука., – СПб., 2004. – 294 с.
21. Николенко И.В. Обеспечение надежного водоснабжения Республики Крым путем внедрения адаптивных многопроцессных схем водоподготовки/ И.В. Николенко, А.Н. Сафонов, М.М. Герасимов, А.А. Беляк, А.А. Свердиков// Строительство и техногенная безопасность. – 2023, №29 (81). – С. 115 – 121.

## REFERENCES

1. Danilov-Danilyan V.I., Losev K.S. Water consumption: ecological, economic, social and political aspects// Moscow: Nauka, 2006. - 221 p.
2. Postel S. The last oasis. Facing water scarcity. – London: Earthscan Publications Ltd., Worldwatch Institute, 1992. – 226 p.
3. Nikolenko I.V., Kopachevsky A.M. The main directions of the development of a set of measures to solve the problems of water scarcity in the Crimea// Construction and technogenic safety. – 2021, №21(73). – pp. 147 – 160.
4. Milly C. and etc. Stationarity Is Dead: Whither Water Management?/ С. D. Milly, J. Betancourt, M.Falkenmark, R. M. Hirsch, Z. W. Kundzewicz, D. P. Lettenmaier.// Science 01 Feb 2008: Vol. 319, Issue 5863, pp. 573-574 DOI: 10.1126/science.1151915.
5. V.I. Danilov-Danilyan. Water resources of the world and prospects of the water management complex of Russia. — М.: ООО "Tipografiya LEVKO", 2009. — 88 p.
6. Water strategy of the Russian Federation for the period up to 2020. Order of the Government of the Russian Federation of August 27, 2009 N 1235-R.

Electronic resource: access mode  
<http://government.ru/docs/10049> / (accessed  
 10.03.2022)

7. Decree of the Government of the Russian Federation of 19.04.2012 N 350 (ed. of 31.05.2017) "On the federal target program "Development of the water management complex of the Russian Federation in 2012-2020". Electronic resource: access mode: <http://government.ru/docs/37156> /(accessed 10.03.2022)

8. I.V. Nikolenko, A.M. Kopachevsky, E.A. Karimov. Analysis of the filling of natural runoff reservoirs to substantiate ways to solve the problems of ensuring water security of the Republic of Crimea and the city of Sevastopol// Water resources. - 2022, volume 49, No. 4. - pp. 1-16.

9. Vasilenko S.L. Stability of water supply systems// Integrated industrial technologies. - 2006, No. 3. - pp. 85-90.

10. Galperin E.M. Determination of the reduced minimum permissible values of the parameters of the functioning of the water supply system // Water and ecology: problems and solutions. - 2003. – No. 4. – pp. 11-16.

11. Bivalkevich A.I., Pokhil Yu.N., Nikitin A.M. Principles of sustainable and reliable operation of water supply and sanitation systems // Water supply and sanitary equipment. - 2004. – No. 3. – Pp. 4-6.

12. Principles of ensuring the reliability of the water supply network in conditions of reduced water consumption // Water supply and sanitary equipment. - 2003. – No. 5, part 2. – pp. 27-31.

13. Armand, A.D. Mechanisms of stability of geosystems [Text]/ A.D. Armand// Factors and

mechanisms of stability of geosystems: Collection of scientific works. -M., 1989. - C. 33 - 46.

14. Dmitriev, V.V. Diagnostics and modeling of aquatic ecosystems [Text] / V.V. Dmitriev. - St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg State University, 1995. - 215 p.

15. Primak E. A. Integral assessment of sustainability and ecological well-being of water bodies [Text]: dis. Candidate of Geographical Sciences. – St. Petersburg: 2009. – 188 p.

16. Puzachenko, Yu.G. Problems of stability and rationing [Text] / Yu.G. Puzachenko // Structural and functional organization and stability of biological systems: Collection of scientific articles - Dnepropetrovsk, 1990. - C.122 - 147.

17. Svetlosanov V.A. Stability of natural systems to natural and anthropogenic influences [Text] / V.A. Svetlosanov. – M.: 11th format, 2009 - 100 p.

18. Snakin, V.V. Assessment of the state and stability of ecosystems [Text] / V.V. Snakin, P.O. Butovsky, V.E. Melchenko et al.-Moscow: VNIIPriroda, 1992. - 127 p.

19. Frumin G.T. Assessment of the state of water bodies and environmental regulation [Text] / G.T. Frumin. - St. Petersburg: Institute of Lake Studies of the Russian Academy of Sciences, 1998. - 95 p

20. Dmitriev V.V., Frumin G.T. Ecological rationing and sustainability of natural systems. Study guide. Nauka., – St. Petersburg, 2004, - 294 p.

21. Nikolenko I.V. Ensuring reliable water supply of the Republic of Crimea by implementing adaptive multi-process water treatment schemes/ I.V. Nikolenko, A.N. Safonov, M.M. Gerasimov, A.A. Belyak, A.A. Sverdlkov// Construction and technogenic safety. – 2023, №29 (81). – P. 115 – 121.

## SELECTION OF A METHOD FOR ASSESSING THE STABILITY OF WATER SUPPLY SYSTEMS WITH RESERVOIRS OF NATURAL RUNOFF OF THE CRIMEAN PENINSULA

Nikolenko I.V.<sup>1</sup>, Melnikova N.S.<sup>2</sup>, Karimov E.A.<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Institute "Academy of Construction and Architecture", 295493, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya Street, 181.

<sup>1</sup> e-mail: nikoshi@mail.ru

<sup>3</sup> Simferopol branch of GBU RK "Krymmeliiovodkhoz"

<sup>3</sup> e-mail: karimov\_ervin@mail.ru

**Annotation.** Approaches to assessing the stability of water supply systems as conditions for the absence of interruptions in the supply of water of the required quality to consumers with ensuring the operational level of quantitative parameters for pressure and supply are presented. A comparative analysis of the reliability and stability properties of complex technical systems is performed. The article evaluates the sustainability of water supply systems in two cities of the Republic of Crimea with natural reservoirs on the basis of an expert point-index system for two periods: arid (2020) and watery (2022). The stability classes of reservoirs providing water to these cities have been determined. The main reasons for the loss of stability of water supply systems are analyzed. The factors of ensuring the stability of water supply systems, which are an important aspect of ensuring the safe, reliable and efficient functioning of these systems, are presented.

**The subject of research.** Physico-geographical, morphometric and hydrological features of reservoirs of natural runoff of the Crimean Peninsula as factors affecting the stability of the water supply system.

**Materials and methods/** The analysis of methods for determining stability, collection and processing of basic hydrological data of reservoirs of natural runoff of the Crimean Peninsula was carried out. The analysis of conditions of loss of stability of water supply systems is carried out.

**Results.** The conditions for the loss of stability of water supply systems, which are associated with the state of water bodies, taking into account external influences, are determined, as well as factors for ensuring the stability of water supply systems are established.

**Conclusions.** Ensuring the sustainability of water supply systems is a complex and multifactorial process that requires an integrated approach. The results of the study show that the point-index methodology can be used for a general assessment of the ecological state of water bodies, but it is not a universal tool for analyzing water supply systems. This technique gives only approximate data and does not give a complete picture of the state of the system. To obtain more accurate results, it is necessary to conduct a detailed analysis of the water supply system, taking into account the overall assessment of the condition of water bodies and take into account all factors affecting the stability of the system, as well as to conduct regular monitoring, quality control of water and water supply sources in order to identify and eliminate possible problems in a timely manner. Only when all factors are taken into account and regular monitoring and monitoring activities are carried out, it is possible to guarantee the safety and reliability of water supply systems for the population and the environment.

**Key words:** sustainability, water supply system, measures to increase sustainability, point-index method, sustainability assessment, sustainability class.



## SARS-COV-2: КАНАЛИЗАЦИЯ КАК ПУТЬ ПЕРЕДАЧИ

Ерхов А.А.

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва

**Аннотация.** Представлены результаты исследования РНК SARS-CoV-2 городских сточных вод в канализации и на очистных сооружениях. Вирус SARS-CoV-2 вызывает тяжёлое главным образом респираторное заболевание; он вирулентен, и в виду высокой контагиозности ведёт к быстрому распространению инфекции с существенным превышением эпидемического порога. Установлено, что контроль пути распространения инфекции через городскую систему канализации, является путём раннего предупреждения увеличения циркуляции вируса в популяции, что позволит успешнее профилактировать эпидемию, оперативно принимать решения по значимым вопросам здравоохранения. При этом передача Covid-19 через сточные воды маловероятна ввиду отсутствия непосредственного контакта человека с водой – и в канализации, и на ОС, а применяемые на них технологии обеззараживания, как заключительный перед сбросом в водные объекты этап процесса обработки, делают их безопасными в окружающей среде и системе водооборота.

**Предмет исследования.** Механизмы передачи возбудителя вируса SARS-CoV-2 с целью выявления трансмиссионных факторов и перекрытия всех путей его распространения.

**Материалы и методы.** Мониторинг сточных вод путём отбора проб в канализационных колодцах и на очистных сооружениях с лабораторным тестированием на присутствие нуклеотидов вируса. Разработка математического аппарата и алгоритмизация для компьютерной реализации расчёта структуры канализационной сети, позволяющие обнаружить источник распространения.

**Результаты.** Установлено, что коронавирус устойчив в агрессивной среде сточных вод и инфекция может передаваться по системе хозяйственно-бытовой канализации, однако ухудшение санитарно-эпидемиологической ситуации и влияние на эпидемию из-за распространения возбудителя по трубопроводам системы водоотведения и через очистные сооружения маловероятно, риск заболевания Covid-19 отсутствует; секвенирование SARS-CoV-2 в сточных водах позволяет изучить геном вируса от множества образцов и определить направление мутаций.

**Выводы.** Мониторинг сточных вод с целью изучения эпидемиологической ситуации является надёжным подходом, позволяющим охватить большое количество населения при помощи нескольких проб, подход ценен для раннего предупреждения, является экономически обоснованной альтернативой крупномасштабного индивидуального тестирования.

**Ключевые слова:** вирус, Covid-19, штамм, геном, инфекция, респираторное заболевание, кишечник, фекалии, водоотведение, трубопровод, очистные сооружения, сточная вода, обеззараживание, тест.

### ВВЕДЕНИЕ

Вирус SARS-CoV-2 – проблема медицинская и биологическая, социальная и демографическая, экономическая и политическая, а также водоснабжения и водоотведения – не исключено распространение возбудителя через природную и сточную воду, и поскольку интерес к объекту исследования многопланов, его особенности стали предметом разных работ – данные о вирусе и пандемии уже сейчас всесторонни, и как показывают, риск заражения через питьевую воду отсутствует, поскольку обеззараживающий эффект известных методов достаточен – действенен и пролонгирован, а вот сточные воды содержат РНК SARS-CoV-2, а, значит, наблюдения за поведением вируса в условиях канализаций интересны, и могут дать важный результат в этом звене предупреждения развития пандемии. Коронавирусная респираторная инфекция – тяжёлая вирулентная болезнь, не особо опасная, но опрокинувшая мир: коронавирусная эпидемия,

приведшая к пандемии планетарного масштаба, порождена инфекционным агентом, передаваемым воздушно-капельным путём – это основной механизм, но патогенные вирусы, как неклоточные относительно устойчивые агенты, могут быть опасными в разных средах, в том числе воде, и так как такие вирусы (как SARS-CoV-2) губительны для клеток организма хозяина, важно понимать все пути распространения, а канализация является наиболее благоприятной средой переноса сточной жидкостью в свободном состоянии и на взвешенных частицах воды (отмечена возможность прикрепления к микроорганизмам); характерные представители мира микробиологии показаны в таблице 1 [1]. Типичным для *питьевой* воды, то есть обычно заражающим через воду, является вирус гепатита А, но это при нарушении гигиенических требований, и чаще всего связано с загрязнением фекальным стоком при инфильтрации в водопровод сточной воды из повреждённого трубопровода системы водоотведения.

Таблица 1. Основные вирусы и заболевания, передающиеся по канализации

Table 1. Major sewer-borne viruses and diseases

Вирусы	Коксаки А & В	Аденовирусы	Эховирусы	Ротавирусы	
Заболевания	Туберкулез	Полиомиелит	Гистоплазмоз	Дизентерия	ОРВ

Первое упоминание о Covid-19 пришло из КНР в конце 2019 г., и описано было как заболевание, подобное гриппу, – он медленно распространялся по странам и континентам, достиг в начале 2022 г. апогея, и до сих пор не побеждён; при этом страны мира охвачены им неравномерно. Источник происхождения неизвестен, – предполагается как естественное – подковоносные летучие мыши, так и лабораторное – Уханьский институт вирусологии; поскольку эти допущения тенденциозны, они не могут быть аргументом ни за, ни против, тем более что репликация рано или поздно всегда ведёт к мутациям. Из г. Ухань эпидемия перешла на другие провинции КНР, чему во многом способствовал китайский Новый год 2020 г., затем – в Европу, и пошла по другим странам, – в связи с глобальным характером, 11 марта ВОЗ объявила о начале

пандемии. Поскольку пандемия развивается волнами, соотносимыми с началом календарного и учебного года (рисунок 1), с профилактической целью в виду высокой контагиозности необходимо ограничивать непосредственные контакты людей, вне зависимости являются ли они установленными вирусоносителями, или нет: НСoV – коронавирусы человека – респираторные патогены, приводящие к пневмонии (МКБ 11. СA40), – вакцинация и формирование популяционного иммунитета требуют гораздо больше времени. Особую озабоченность вызывает сдвиг возраста инфицированных в сторону более молодого, тем более что однозначна связь патогенеза Covid-19 с коморбидностью и тяжестью сопутствующих заболеваний.

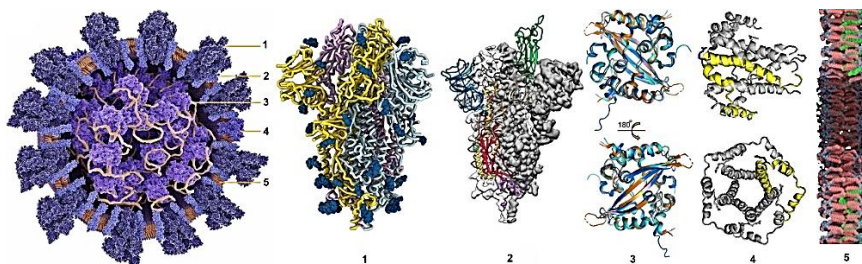


**Рисунок 1.** Статистика заболеваемости Covid-19 в мире важна для подведения итогов; значения – по наивысшему уровню (реальная заболеваемость значительно выше, поскольку лёгкие и бессимптомные случаи упускаются из виду).  
**Figure 1.** Statistics on the incidence of Covid-19 in the world are important for summing up; values are at the highest level (the actual incidence is much higher, since mild and asymptomatic cases are overlooked).

### Анализ публикаций

Вообще идентифицировано семь кладов коронавирусов человека (иные источники указывают пять): четыре штамма вызывают лёгкие респираторные симптомы, а три: SARS-CoV-1 – тяжелый острый респираторный синдром (ТОРС) 2002 г., MERS-CoV – ближневосточный респираторный синдром (ББРС) 2012 г. и SARS-CoV-2 приводят к тяжелой пневмонии. Этиология предполагает знания строения и механизм поражения [2], – коронавирусы – частицы круглой формы  $\beta$ -семейства с оболочкой – состоят из четырёх разных белков и нити РНК (рисунок 2): белок в виде шипа, выступающий за липидную

оболочку, придаёт вирусу вид (под электронным микроскопом) солнечной короны (рисунок 3), белки оболочки и мембраны находятся в липидной мембране, обеспечивая структурную целостность, внутри – четвёртый белок – нуклеокапсид, представляющий каркас для удержания около 30000 нуклеотидов вирусного генома – одноцепочечной РНК с положительной полярностью; размер вирусной частицы 50-200 нм. Гликопротеин шипа используется вирусом для входа в клетку путём химического прикрепления к ангиотензин-превращающему ферменту 2 мембраны клетки-хозяина, и после размещения в эндоплазматическом ретикулуме начинает реплицироваться (рисунок 4 – эндцитоз альвеолярного эпителия [сайт Роспотребнадзора]).

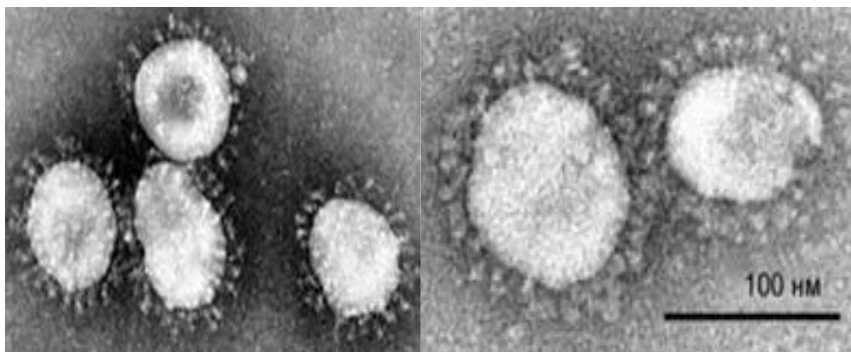


**Рисунок 2.** Компьютерные 3D-модели вириона и структурных белков коронавируса:

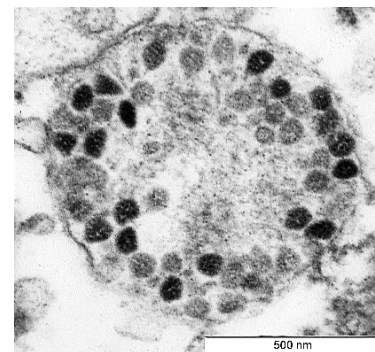
- 1 – спайковый (гликопротеин) – «шип» (S), размером (массой) 180-200 кДа и длиной 9-12 нм; 2 – мембранный (M) размером 25-35 кДа; 3 – РНК одноцепочечная RNA (жёлтый цвет) и нуклеокапсидный (N) размером 43-50 (фиолетовый); 4 – оболочки (E) размером 8,4-109; 5 – мембрана (липидная).

**Figure 2.** Computer 3D models of the virion and structural proteins of the coronavirus:

1 - spike (glycoprotein) - "spike" (S), size (mass) 180-200 kDa and length 9-12 nm; 2 - membrane (M) with a size of 25-35 kDa; 3 - RNA single-stranded RNA (yellow) and nucleocapsid (N) size 43-50 (violet); 4 - shells (E) with a size of 8.4-109; 5 - membrane (lipid).



**Рис. 3.** Трансмиссионная электронная микрофотография коронавирусов.  
**Fig. 3.** Transmission electron micrograph of coronaviruses.



**Рис. 4.** Омикрон-штамм.  
**Fig. 4.** Omicron strain.

Поскольку главная опасность воспалительной реакции от поражения вирусом – нарушение перфузии лёгких, политика тестирования и вакцинации, ношения масок и ограничения перемещений, особенно общественным транспортом, перехода на удалённый режим работы/учёбы и самоизоляции, запрета публичных мероприятий и изоляции/отслеживания заражённых положительно сказалась на эпидемии, основной путь распространения которой через воздух при дыхании, кашле и т.д.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Респираторная функция не единственный путь распространения, требующий близкого контакта – Covid-19 способен переноситься материальными объектами, то есть неодушевлёнными телами и жидкостями, летучими органическими соединениями, а такой путь проще перекрыть, если источник известен. Технологии водоподготовки для обезвреживания бактерий и вирусов предполагают обеззараживание, направленное на гибель патогенов и условно патогенных видов (симбионтные полезные формы в воде не присутствуют, и не учитываются), – в процессе используют вещества-сильные окислители: хлор и его соединения, озон, а также жёсткое электромагнитное излучение – УФ; хлор и УФ более действенны против бактерий, озон – против вирусов [3, 4], однако SARS-CoV-2 легко поражается и хлором.

Канализация предоставляет обширный микробиологический материал, при этом особый интерес вызывают сточные воды инфекционных отделений лечебных учреждений – геном Covid-19 выявляется в стоке различных клиник: лишь 10 % (некоторые источники утверждают – 3 %) пациентов с Covid страдают от диареи (к которой могут добавляться ЖК симптомы: диспепсия, тошнота, рвота, метеоризм и боли, вызванные

желудочно-кишечной Ковид-инфекцией), однако со стулом выделяют все; оболочечная мембрана SARS-CoV-2 необычна для не имеющих оболочки кишечных вирусов – аденовирусов, ротавирусов, норовирусов, гепатовирусов, и SARS-CoV-2 обладает большей сопротивляемостью и лучшей выживаемостью в ЖКТ. Но и до начала острой фазы, за неделю до проявления физиологических симптомов (также, как и после выздоровления), SARS-CoV-2 можно обнаружить в сточной воде, активном иле, очищенных сточных водах и водоёме, что говорит о возможности раннего предупреждения Covid [5-7], и определить тенденции распространения; исследования позволяют изучить генетическое разнообразие и варианты SARS-CoV-2: секвенирование SARS-CoV-2 для определения штаммов Альфа, Бета, Гамма, Дельта и Омикрон позволяет соотносить вариант вируса с тяжестью и иммунитетом, определяющим общую эпидемиологическую ситуацию.

Мониторинг сточных вод для скрининга на SARS-CoV-2 с целью раннего обнаружения в популяции болезни наиболее важен для территорий с высокой плотностью населения: эпидемиологически учитывают лишь случаи, попавшие в медицинскую статистику в виду выраженности симптомов (у большинства инфицированных клинические симптомы проявляются спустя 3-7 сут), что не отражает истинные уровни распространения инфекции – бессимптомность может достигать 80 %, и канализация объективизирует фактические значения, необходимые для оптимизации работы общественного здравоохранения и интенсификации научной деятельности для разработки методик предупреждения других видов инфекций в будущем (например, полиомиелита); так как вирус SARS-CoV-2 инфицированного начинает распространяться до проявления симптомов Covid-19, подход особенно ценен для раннего предупреждения, и кроме того, такой мониторинг

является экономически обоснованной альтернативой крупномасштабного индивидуального тестирования.

Методы отбора проб и скрининга в канализации нуждаются в надёжном вычислительном алгоритме, описывающем, в том числе, данную структуру канализационной сети, – водоотводящая сеть имеет плановые очертания разветвлённого графа-дерева, подобно речной системе из главной реки и притоков, и алгоритмизация математических методов должна приводить к результату, учитывающему в операционной обработке полный набор множества данных, и однозначно указывать на источник распространения.

Составная усреднённая проба сточной воды содержит смешанные фекальные «образцы» всего сообщества данной территории, следовательно и мазок будет общий данной местности, и исходя из скорости переноса вируса, затухания следа РНК, чувствительности анализа, погрешности метода численного моделирования, обнаружение одного



Рис. 5. Подготовка автоматических пробоотборников.  
Fig. 5. Preparation of automatic samplers.

Второй путь передачи SARS-CoV-2 со сточными водами на канализационных очистных сооружениях (ОС), прежде всего с аэрозолями воздуха над аэротенками, и действительно, в пробах обычно обнаруживаются два вида: норовирус и аденовирус, – аденовирус присутствует почти во всех образцах (97 % зимой и 100 летом) в концентрации  $2,27 \cdot 10^6$  геномных экв/м<sup>3</sup>, норовирус редко, но обнаруживается, отсюда, наличие патогенов в виде вирусных частиц в аэрозолях исключать нельзя. В эпидемию SARS-CoV 2002–2003 гг. не было ни одного случая заражения работников ОС.

Риск заражения через сточные воды необходимо соотносить с возможностью их попадания в природные объекты без очистки: при таянии снега и ливневых дождях не исключены переполнения канализации (половодья, паводки переносят патогены *Campylobacter*, *Cryptosporidium*, *Giardia*, норовирус и энтеровирус), возможно подтопление территорий и подвалов зданий из-за утечек через повреждённый трубопровод канализационной

инфицированного возможно в популяции широчайшего диапазона – от ста человек до двух миллионов; данные о вирусной нагрузке SARS-CoV-2 в сточных водах и тенденциях заражения населения в отсутствие широкомасштабного индивидуального тестирования – информация для ответственных лиц системы здравоохранения.

Отбор проб в канализационных колодцах в асептических условиях с помощью автоматического пробоотборника обеспечивает точное пространственное разрешение и позволяет локализовать источник (рисунок 5), однако, это метод дискретной выборки, в отличие от которого непрерывная регистрация в режиме реального времени более чувствительна из-за большего объема проходящих через пробоотборник вод, но и менее достоверна для количественной оценки вирусных концентраций – неизвестно, какое количество вирусов покинуло пробоотборник без регистрации, то есть насколько эффективен сбор образцов.

системы, есть также риск, связанный с децентрализованными системами – в септиках жидкость не дезинфицируют, и возможно загрязнение водных объектов и питьевых колодцев через грунтовые воды, если расстояние до них <30 м.

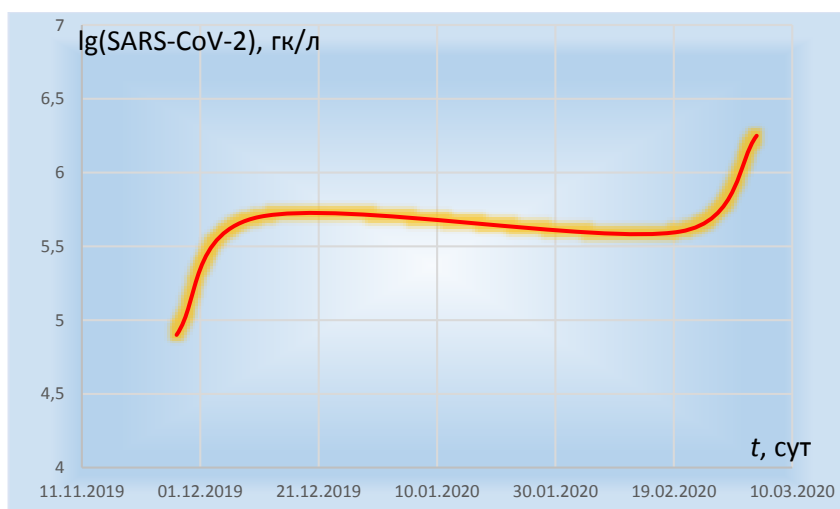
Дезинфицирование сточной воды хлором, озоном и УФ для инактивации SARS-CoV-2 не являются единственными: возможно механическое удаление вируса процеживанием сквозь фильтрационные мембраны: нанофильтрация и обратный осмос – процессы отсекающие, в том числе микроорганизмов, по молекулярной массе, и биологическое удаление: находясь на своём трофическом уровне, хищные простейшие способны инактивировать вирусы каталитическим действием протеаз и нуклеаз с последующей адсорбцией твёрдыми частицами или связыванием хлопьями активного ила; активность в отношении SARS-CoV-2 проявляют и бактерии, например, штамм *L. fermentum* 90 TC-4.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Пик выделений РНК в мазках из зева или носа приходится на день появления симптомов, среднее же время госпитализации после первых симптомов – 3–10,5 сут в зависимости от возраста и состояния, – и время между появлением в сточных водах РНК SARS-CoV-2 и госпитализацией с Covid-19 составляет 1–9 сут, то есть совпадают, поэтому наличие в сточных водах вируса предвещает госпитализацию. Задержка, как инкубационный период, приводит к увеличению числа заражённых, а ослабление карантинных мер, как причинно-следственная связь, усугубляет санитарно-эпидемиологическую ситуацию. Удалённый режим и самоизоляция значительно снижают концентрацию SARS-CoV-2 в сточных водах общественных зданий и бытовой канализации промпредприятий, что, впрочем, не приводит к существенному сокращению госпитализаций – несоответствие «сигнала» сточных вод и числа госпитализаций связано с нарастающим количеством заражённых молодых, состояние которых не требует больничного режима, поэтому при высоком растущем уровне циркуляции SARS-CoV-2 канализация не будет достоверным источником информации о пандемии. Также и снижение госпитализаций объясняется возрастной демографической структурой населения, на которое накладывается ограничение перемещений более возрастной группы, находящейся из-за коморбидности и хрупкости в зоне риска. Ещё одним фактором увеличения числа заболевших, который необходимо учитывать в моделях, является холодная погода – респираторные заболевания носят сезонный характер и ассоциируются с зимой.

Механизм выбора точек отбора образцов в канализации на SARS-CoV-2 имеет большую

неопределенность, чем госпитализация и другие перечисленные факторы, из-за нерегулярности измерений. Кроме того, неопределенность оценки абсолютного числа инфекций в сообществе посредством скрининга на вирус сточных вод происходит из-за отсутствия информации о продолжительности стула с SARS-CoV-2 (от 15 до 130 сут) при различной вирусной нагрузке конкретных штаммов (изменяется в пределах  $\lg(3,5\dots7)$ ) генетических копий на грамм фекалий [гк/г] (рисунок 6), скорости выделения фекалий оцениваемой по формуле  $C\Phi = VC \cdot Q \cdot 0,0007 / (G \cdot I)$ , где  $VC$  – концентрация гена  $N$  в единицах копий гена на литр;  $Q$  – расход сточных вод;  $0,0007$  – коэффициент перевода мин. в сут;  $G$  – средний вес влажных фекалий на душу жителя страны с высоким уровнем дохода (126 г/чел./сут);  $I$  – общее число потенциально инфицированных) и стабильности вируса в разных условиях, при том что вирусные частицы в зависимости от характера сети задерживаются в канализации от нескольких часов до двух дней, и кроме того, титр SARS-CoV-2 различается порядками. Количество SARS-CoV-2 в городском стоке оценивается в 56,6 млн–11,3 млрд вирусных геномов на одного инфицированного в день, или 600 тыс–30 млн вирусных геномов/мл фекального вещества, учитывая фекальную нагрузку в 100 г фекалий/человеко-день удельной плотностью 1,06 г/мл; в сточной воде SARS-CoV-2 способен выживать до 14 дней при 4 °C и только 2 при 20. Увеличение концентрации в сточных водах SARS-CoV-2 коррелирует с увеличением числа зарегистрированных случаев Covid-19, снижение – косвенно свидетельствует о снижении; впрочем, ряд исследований показывают отсутствие такой связи.



**Рис. 6.** Изменение вирусной нагрузки в канализации за три месяца (на примере Флорианополиса), – кривые аналогичны по всем мегаполисам мира – Европы, Северной Америки, других континентах.

**Fig. 6.** Changes in the viral load in the sewer for three months (on the example of Florianopolis), - the curves are similar for all megacities of the world - Europe, North America, and other continents.

Отобранные в канализации или на ОС образцы транспортируют в лабораторию в контейнерах с низкотемпературной средой ~4 °С. Методы концентрации [8] разнообразны (таблица 2) – например, вирус извлекают из образцов на основе ПЭГ (эффективность 15-25 % с общим средним 21), жидкость центрифугируют, к надосадочной жидкости добавляют MgCl<sub>2</sub>, и образец пропускают сквозь электроотрицательную мембрану,

помещаемую в раствор лизирующего буфера, – вирус, попавший на мембрану, извлекают и инактивируют. Наименьшее количество обнаруживаемых копий 10 на реакцию. Сумму нуклеиновых кислот экстрагируют с использованием аппарата-экстрактора нуклеиновых кислот в соответствии с инструкциями производителя; экстрагированный NA хранят до секвенирования при –70 °С.

**Таблица 2.** Методы концентрации SARS-CoV-2 в образцах сточных вод  
**Table 2.** Methods for concentrating SARS-CoV-2 in wastewater samples

<i>Метод</i>	<i>Алгоритм процесса</i>
Метод двухфазного разделения	Флокуляция с использованием мясного бульона в глициновом буфере
	Подкисленный и говяжий экстракт флокулируют добавлением HCl
	Суспензию перемешивают 10 ч
	Центрифугируют при 1000 g 30 мин при 4 °С
Метод двухфазного разделения (на основе ПЭГ)	Получают осадок, растворенный в фосфатно-солевом буфере
	Центрифугирование при 4500 g 30 мин
	Фильтрация супернатанта фильтром 0,22 мкм
	Добавление ПЭГ и NaCl
	Инкубирование в течение ночи при 17 °С и 100 об/мин
Метод двухфазного разделения (на основе ПЭГ)	Центрифугирование при 1300 g 90 мин
	Осадок ресуспендируют в воде без РНКазы
	Фильтрация через мембрану 0,20 мкм
Метод двухфазного разделения (на основе ПЭГ)	Добавление ПЭГ-8000 и NaCl
	Центрифугирование при 12 000 g 2 ч или до осадка
	Центрифугирование для удаления крупных частиц
	Добавление ПЭГ или квасцов и центрифугирование
	Инкубирование при 4°С при 100 об/мин 12 ч
	Центрифугирование при 14000 g 45 мин при 4 °С
Ультрафильтрация	Вирус суспендируется в фосфатно-солевом буфере
	Фильтрация через фильтр 0,22 мкм
	Центрифугирование с использованием ультрафильтрационной мембраны 30 кДа
	Центрифугирование при 4654 g 30 мин для удаления крупных частиц
	Супернатант фильтруют через Centricon® Plus-70 100 кДа путём центрифугирования при 1500 g 15 мин
Ультрафильтрация	Центрифугирование при 3000 g 30 мин для удаления крупных частиц
	Супернатант фильтруют через Centricon® Plus-70 100 кДа центрифугированием при 1500 g 15 мин
Ультрафильтрация	Блок фильтров переворачивают и центрифугируют при 1000 g 2 мин
	Фильтруется через мембранные фильтры 20 мкм, 5 мкм и 0,45 мкм
	Концентрация концентратом Corning Spin-X 100 кДа
Ультрафильтрация	Экстрагируют с помощью RNeasy Mini Kit и буфера, не содержащего РНКазы
	Центрифугируют при 200 000 g 1 ч при 4 °С
	Вирусные осадки, ресуспендированные в фосфатно-солевом буфере
	Вирусный концентрат лизируют и экстрагируют
Адсорбционное элюирование вируса	Извлеченные нуклеиновые кислоты отфильтровывают при помощи набора для удаления ингибитора ПЦР
	Добавление MgCl <sub>2</sub>
	Пропускают через электроотрицательный фильтр 0,45 мкм
	Удаляют ионы Mg через H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	Образец элюируют NaOH и извлекают пробиркой, содержащей H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> и Трис-ЭДТА
Адсорбционное элюирование вируса	Центрифугируют с ультрафильтрационной мембраной 30 кДа
	pH доводят до 6,0, и при добавлении AlCl <sub>3</sub> образуют осадок Al(OH) <sub>3</sub>
	pH доводят до 6,0 и смешивают
	Центрифугируют при 1700 g 20 мин
Адсорбционное элюирование вируса	Ресуспендируют гранулы в экстракте мясного бульона при pH 7,4
	Центрифугирование при 1900 g 30 мин

Тестирование проводят методом полимеразной цепной реакции (PCR) с обратной транскриптазой в реальном времени (rRT-PCR), количественной ПЦР (qPCR) и количественной обратной транскрипцией (RT-qPCR), и методы такой оценки позволяют охватить не только протестированных с симптомами, но и нетестированных бессимптомных. Суть анализа – обнаружение нуклеиновых кислот SARS-CoV-2, поэтому

генетическим материалом вируса является РНК, называемая «отпечатком пальца» или идентификационной картой вируса; РНК-геном имеет репликационный комплекс: ORF1a<sup>1</sup> кодирует геном неструктурного белка<sup>2</sup> nsp1–nsp10, ORF1b – nsp11–nsp16, и четыре гена – шипа (S), оболочки (E), мембраны (M) и нуклеокапсида (N) кодируют структурные белки (рисунок 2), таблица 3 [9]).

**Таблица 3.** Олигонуклеотиды, рекомендованные ВОЗ для диагностики COVID-19  
**Table 3.** Oligonucleotides recommended by WHO for the diagnosis of COVID-19

Локус	Олигонуклеотиды
ORF1b-nsp14	HKU-ORF1b-nsp14F TGGGGYTTTACRGGTAACCT
	HKU-ORF1b-nsp14R AACRCGCTTAACAAAGCACTC
	HKU-ORF1b-nsp141P FAM-TAGTTGTGATGCWATCATGACTAG-BHQ1
N gene	HKU-NF TAATCAGACAAGGAAGTACTGATTA
	HKU-NR CGAAGGTGTGACTTCCATG
	HKU-NP FAM-GCAAATTGTGCAATTTGCGG-BHQ1

Для выявления используют наборы разных производителей.

Отличие нуклеотидов от эталона >1 % говорит о мутации, – частота (в процентах от общего числа) мутировавших нуклеотидов связана с известными летучими органическими соединениями и веществами (ЛОВ); отслеживание ЛОВ в клинических образцах позволяет при секвенировании образцов идентифицировать 60 % случайных геномов с 80 % распространённых инфекций. Поскольку исследования распространения SARS-CoV-2 и идентификация штаммов основаны на смешанных образцах, и обнаруживают общие мутации генома, а не штаммы отдельного человека, метод обладает преимуществами в сравнении с клиническим отбором проб, имея существенно больший охват населения с большой территории, – секвенирование SARS-CoV-2 в сточных водах позволяет изучить геном вируса от множества образцов и определить направление его мутаций. Мониторинг сточных вод является надёжным подходом, позволяющим охватить большие площади при помощи нескольких проб. Выявленные проблемы сложны, но решаемы, если есть надёжная модель, поэтому требуется дополнительная работа для оценки взаимосвязи систем отбора проб сточных вод с клиническими системами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов опубликованных исследований распространения SARS-CoV-2 через канализацию позволяет сделать следующие выводы:

1. Исследования РНК SARS-CoV-2 городских сточных вод в канализации и на ОС контролирует этот путь распространения инфекции, – путём раннего предупреждения увеличения циркуляции вируса в популяции можно воздействовать на эпидемию, однако, интерпретация появления вируса в сточных водах неоднозначна, поскольку только у 10 % пациентов с Covid-19 вирус выделяется в кишечнике, и некоторые больные не выделяют его со стулом. Тем не менее, тестирование нужно превратить в инструмент прогнозирования пандемии, – это многообещающий подход в оценке распространения COVID-19 в популяции, поскольку служит показателем соответствия содержания РНК SARS-CoV-2 в сточных водах и числа заражённых людей.

2. Передача Covid-19 через сточные воды маловероятна ввиду отсутствия непосредственного контакта человека с водой – и в канализации, и на ОС, а применяемые на них технологии обеззараживания, как заключительный перед сбросом в водные объекты этап процесса обработки, делают их безопасными в окружающей среде и системе водооборота.

3. Преимущества секвенирования сточных вод на вирус и использование метода для мониторинга канализации за передачей и разнообразием штаммов SARS-CoV-2 позволит успешнее профилировать эпидемию, оперативно принимать решения по значимым вопросам здравоохранения.

<sup>1</sup> Open Reading Frame – открытая рамка считывания – последовательность нуклеотидов, кодирующих белок.

<sup>2</sup> nsp – nonstructural protein.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ерхов А.А., Королёва Е.А. Микробиологический анализ воздуха в процессе эксплуатации инженерных систем и санация трубопроводов. Яковлевские чтения: сб. докладов XVI Международной научно-техн. конф. – М.: Изд. МИСИ, 2021. – С. 92-113.

2. Kyncl M. and Drabinová S. The impact of Covid-19 pandemic on water supplies and wastewater sewer system. *Advances in Environmental Engineering. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 900 (2021) 01.2021. – p. 1-5.

3. Ерхов А.А., Кравченко Д.С. Обзор патогенов питьевой воды для обоснования санитарно-гигиенических мероприятий. Сборник «Новые идеи в науках о Земле»: в 7 т./Материалы XIV Межд. научно-практ. конф. – М.: РГГРУ, 2019. Т. 3: Развитие новых идей и тенденций в науках о Земле: гидрогеол. и инженерная геология, геоэкология. – 466-470 с.

4. Ерхов А.А., Королёва Е.А. Определение производительности фильтров для обеззараживания вентилируемого воздуха резервуаров систем ВиВ.

Экология промышленного природопользования № 2, 2022. – С. 43-48.

5. Corchis-Scott Ryland and etc. Averting an Outbreak of SARS-CoV-2 in a University Residence Hall through Wastewater Surveillance. *ASM Journals Microbiology Spectrum*. Vol. 9, No. 2, 2021. – p. 1-12.

6. Ferraro G. Bonanno and etc. A State- of- the- Art Scoping Review on SARS- CoV- 2 in Sewage Focusing on the Potential of Wastewater Surveillance for the Monitoring of the COVID- 19 Pandemic. *Food and Environmental Virology* (2022) 14:315–354. – p. 315-354.

7. Itay Bar-Or and etc. Detection of SARS-CoV-2 variants by genomic analysis of wastewater samples in Israel. *Science of The Total Environment*, V. 789, 2021. p. 315-354.

8. Danwei Zhang and etc. SARS-CoV-2 in wastewater: From detection to evaluation. *Materials Today Advances* V. 13 (2022) 100211. p. 1-14.

9. Кузнецова Н.А., Почтовый А.А., Никифорова М. А., Гушин В. А. Стратегии дизайна РТ-ПЦР-систем и организация мониторинга SARS-CoV-2. *Вестник РГМУ* 2, 2020. – С. 21-25.

## SARS-CoV-2: SEWERAGE AS A TRANSMISSION ROUTE

Erkhov A.A.

Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting

**Abstract:** The results of a study of the SARS-CoV-2 RNA of urban wastewater in sewers and sewage treatment plants are presented. The SARS-CoV-2 virus causes a severe mainly respiratory disease; it is virulent, and due to its high contagiousness leads to a rapid spread of infection with a significant excess of the epidemic threshold. It has been established that the control of the path of infection through the urban sewerage system is a way of early warning of an increase in the circulation of the virus in the population, which will make it possible to prevent the epidemic more successfully, to promptly make decisions on significant health issues. At the same time, the transmission of Covid-19 through wastewater is unlikely due to the absence of direct human contact with water – both in the sewer and on the OS, and the disinfection technologies used on them, as the final stage of the treatment process before discharge into water bodies, make them safe in the environment and the water circulation system.

**Subject of research.** Mechanisms of transmission of the causative agent of the SARS-CoV-2 virus in order to identify transmission factors and overlap all ways of its spread.

**Materials and methods.** Wastewater monitoring by sampling in sewer wells and sewage treatment plants with laboratory testing for the presence of virus nucleotides. Development of mathematical apparatus and algorithmization for the computer implementation of the calculation of the structure of the sewer network, allowing to detect the source of distribution.

**Results.** It has been established that the coronavirus is resistant in an aggressive wastewater environment and the infection can be transmitted through the household sewerage system, however, the deterioration of the sanitary and epidemiological situation and the impact on the epidemic due to the spread of the pathogen through the pipelines of the wastewater disposal system and through treatment facilities is unlikely, there is no risk of Covid-19 disease; sequencing of SARS-CoV-2 in wastewater allows you to study the genome of the virus from a variety of samples and determine the direction of mutations.

**Conclusions.** Wastewater monitoring in order to study the epidemiological situation is a reliable approach that allows covering a large number of the population with the help of several samples, the approach is valuable for early warning, is an economically feasible alternative to large-scale individual testing.

**Key words:** virus, Covid-19, strain, genome, infection, respiratory diseases, intestines, faeces, drainage, pipeline, treatment facilities, waste water, disinfection, test.

СПИСОК АВТОРОВ

- Ариштович М. В.** обучающийся, Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского, г. Симферополь
- Бекиров Э.А.** д.т.н., профессор, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
- Бутко Д.А.** к.т.н., доцент, Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону
- Вилкова И.М.** Учебно-научно-производственное предприятие «Аспект», г. Волгоград
- Горбачева Г.В.** кандидат архитектуры, доцент, Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского, г. Симферополь
- Девятов М.М.** к.т.н., профессор, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград
- Ерхов А.А.** к.т.н., Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва
- Живица В.В.** старший преподаватель, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
- Журавлев П. А.** к.т.н., доцент, Московский государственный строительный университет, г. Москва
- Заборова Д.Д.** м.н.с., Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого
- Каримов Э.А.** Симферопольский филиал ГБУ РК «Крыммелиоводхоз», г. Симферополь
- Коряковцева Т.А.** к.т.н., доцент, Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого
- Кувшинов В.В.** к.т.н., доцент, Севастопольский государственный университет
- Лизоркина А.А.** обучающийся, Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского, г. Симферополь
- Марукян А.М.** к.т.н., доцент, Московский государственный строительный университет, г. Москва
- Мельникова Н.С.** обучающийся, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
- Никитин Д.В.** обучающийся, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград
- Николенко И.В.** д.т.н., профессор, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь.
- Николенко И.В.** д.т.н., профессор, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь.
- Сборщиков С.Б.** к.э.н., доцент, Московский государственный строительный университет, г. Москва
- Тараненко И.С.** обучающийся, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград
- Толстой М.Ю.** к.т.н., доцент, заведующий кафедрой инженерных коммуникаций и систем жизнеобеспечения, Иркутский Национальный Исследовательский Технический Университет, г. Иркутск
- Туник А.А.** к.т.н., доцент, доцент кафедры инженерных коммуникаций и систем жизнеобеспечения, Иркутский Национальный Исследовательский Технический Университет, г. Иркутск
- Якимович Б.А.** д.т.н., профессор, Севастопольский государственный университет, г. Севастополь
- Яцковская О.П.** обучающийся, Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского, г. Симферополь

## ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

**1. Прием статей в редакцию и состав сопроводительных документов**

Прием статей для публикации в журнале осуществляется в постоянном режиме. Процесс рассмотрения статьи, рецензирования и редакционно-издательской обработки занимает достаточно длительное время, в связи с чем поступившая и допущенная редколлегией к публикации статья будет, как правило, опубликована не ранее, чем через 4 месяца со дня ее поступления. Датой поступления статьи будет считаться дата ее получения от автора в окончательном варианте после всех доработок и исправлений по замечаниям рецензентов и редактора.

Просим авторов тщательно готовить свои материалы с целью сокращения сроков их рассмотрения и обработки.

*Неправильно оформленные материалы не рассматриваются, не рецензируются и не возвращаются!* Также не возвращаются авторам рукописи статей и электронные копии на локальных носителях. При этом редакция по собственной инициативе в переговоры с авторами не вступает.

1.1. Прием статей на рассмотрение и рецензирование осуществляется через онлайн систему приема статей.

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 озаглавливаются словом Рис.1 (шрифт – обычный TNR 9 пунктов) со следующим за ним номером с точкой. Рисунки выполняются в графических редакторах, совместимых с Word и размещаются по тексту. Под рисунком помещается подпись на русском и английском языках. Короткая подпись центрируется, а если длинная – форматируется с абзацем первой строки. Качество рисунков и графиков должно обеспечивать прочтение и тиражирование. Рисунки и графики нумеруются арабскими цифрами.

**Формулы.** Формулы набираются в редакторе формул Equation или Math Type. Использовать для набора формул графические объекты, кадры и таблицы запрещается. Формула располагается по центру строки, номер формулы (в круглых скобках, TNR 10 пт) – по правому краю страницы, от окружающего текста отделяется пустыми строками. Формульное окно принудительно растягивать или сжимать нельзя. Применение единиц измерений в международной системе СИ – обязательно.

### Обязательный порядок статьи.

- **УДК** в левом верхнем углу страницы, шрифт TNR 12 пт, прописными буквами
- **Название статьи шрифт** TNR 12 пт все прописными.
- **Имя и фамилия** автора(ов), шрифт обычный TNR 12 пт.
- **Место работы** авторов, шрифт обычный TNR 9 пт., адрес места работы, e-mail
- **Аннотация статьи (Abstract)** 200 – 250 слов, шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Предмет исследования (Subject 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.