

# СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

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

№ 36(88) – 2025

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

#### Учредитель:

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

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

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

---

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

Главный редактор

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

Заместители главного редактора:

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

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

Редакционная коллегия:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## СТРОИТЕЛЬСТВО

### И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 36(88) – 2025

научно-технический журнал

Печатается по решению научно-технического  
совета ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»  
(протокол № 2 от 14.03.2025)

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

Подписан в печать 27.03.2025.

Формат А4.

Бумага офсетная. Печать трафаретная.  
Гарнитура Times New Roman. Усл.-печ. л. 11

Тираж 100 экз.

Дата выхода в свет:

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»

Адрес типографии 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**

<i>Любомирский Н.В.</i> ПРИВЕТСТВИЕ ПРОРЕКТОРА ПО НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КРЫМСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА	5
<b>Раздел 1. Градостроительство</b>	
<i>Сидорова В.В., Малюгин А.В.</i> ОРГАНИЗАЦИЯ ДОСТУПНОЙ СРЕДЫ ПРИБРЕЖНЫХ РЕКРЕАЦИОННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В Г. ЯЛТА	6
<b>Раздел 2. Строительство</b>	
<i>Родин С.В., Богоцкий Ю.Г., Богоцкий Г.А., Калафатов Д.А.</i> ПОЛЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ ФУНДАМЕНТОВ ОБЪЕКТА АЭРОПОРТОВОГО КОМПЛЕКСА «СИМФЕРПОПОЛЬ»	17
<i>Пашенцев А.И.</i> ПОДХОД К ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ КРЕПЛЕНИЯ БЫСТРОТОКА ВОДОСБРОСНОГО СООРУЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ПОКАЗАТЕЛЯ НАДЕЖНОСТИ	25
<i>Васильев М.В., Белавский В.А., Ткаченко О.Я.</i> АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КЛАДКИ ИЗ ГАЗОБЕТОННЫХ БЛОКОВ УСИЛЕННОЙ КОМПОЗИТНЫМИ ПОЛИМЕРНЫМИ СЕТКАМИ	31
<i>Шаленный В.Т., Акимов С.Ф., Селимов М.Э.</i> СНИЖЕНИЕ РЕСУРСОЁМКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАБОТ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ФУНДАМЕНТОВ И ПЕРЕКРЫТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ВЯЗКИ АРМАТУРНЫХ СЕТОК	37
<i>Любомирский Н.В., Федоркин С.И., Бахтин А.С., Бахтина Т.А., Чунихин С.В.</i> РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ СЫРЬЕВЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ КАМНЕДОБЫЧИ ДИАБАЗОВЫХ ГОРНЫХ ПОРОД	47
<b>Раздел 3. Инженерное обеспечение</b>	
<i>Ангелюк И.П., Зайцев О.Н., Федюшко Ю.М.</i> МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ ПРИ АНАЛИЗЕ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОКЛИМАТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	57
<i>Бекиров Э.А., Воскресенская С.Н.</i> ОБОСНОВАНИЕ ПЕРИОДА КВАНТОВАНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ СТОХАСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ И ГЕНЕРИРОВАНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ	65
<b>Раздел 4. Экологическая безопасность</b>	
<i>Иваненко Т.А., Ветрова Н.М.</i> ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГО-ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ ОБУСТРОЙСТВА ПРИМОРСКИХ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН	77
<i>Меннанов Э.М., Меннанов Э. Э.</i> СОСТОЯНИЕ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ КРЫМА ПРИ ИХ РЕКРЕАЦИОННОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ	83
<i>Список авторов</i>	91
<i>Руководство для авторов</i>	92

## **CONTENT**

<i>Lyubomirsky N.V.</i> GREETINGS BY THE VICE-RECTOR FOR SCIENTIFIC ACTIVITIES CRIMEA FEDERAL UNIVERSITY	5
<b>Section 1. Town planning</b>	
<i>Sidorova V.V., Malyugin A.V.</i> ORGANIZATION OF AN ACCESSIBLE ENVIRONMENT OF COASTAL RECREATIONAL AREAS IN YALTA	6
<b>Section 2. Construction</b>	
<i>Rodin S.V., Bogutsky Y.G., Bogutsky G.A., Kalafatov D.A.</i> FIELD TESTS OF BORED PILES OF FOUNDATIONS OF THE FACILITY OF THE AIRPORT COMPLEX "SINFERPOPOL"	17
<i>Pashentsev A.I.</i> AN APPROACH TO ASSESSING THE STABILITY OF REINFORCED CONCRETE SLABS FOR FAST-FLOW SPILLWAY STRUCTURES, TAKING INTO ACCOUNT RELIABILITY INDICATOR	25
<i>Vasiliev M.V., Belavsky V.A., Tkachenko O.Y.</i> ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF MASONRY MADE OF AERATED CONCRETE BLOCKS REINFORCED WITH COMPOSITE POLYMER MESHES	31
<i>Shalenny V.T., Akimov S.F., Selimov M.E.</i> REDUCING THE RESOURCE INTENSITY OF REINFORCED CONCRETE WORKS DURING THE CONSTRUCTION OF FOUNDATIONS AND FLOORS USING A NEW TOOL FOR KNITTING REINFORCING GRIDS	37
<i>Lyubomirskiy N.V., Fedorkin S.I., Bakhtin A.S., Bakhtina T.A., Chunikhin S.V.</i> DEVELOPMENT OF RAW MIXTURE COMPOSITIONS FOR PRODUCING PORTLAND CEMENT CLINKER BASED ON WASTE FROM DIABASE ROCK QUARRYING	47
<b>Section 3. Engineering Support</b>	
<i>Angeluck I.P., Zaitsev O.N., Fedyushko U.M.</i> MODELS OF TURBULENT FLOW IN THE ANALYSIS OF BUILDING AND STRUCTURE CLIMATE FORMATION	57
<i>Bekirov E.A., Voskresenskaya S.N.</i> JUSTIFICATION OF THE PERIOD OF QUANTIZING MEASUREMENTS OF STOCHASTIC PROCESSES OF CONSUMPTION AND GENERATING REACTIVE POWER	65
<b>Section 4. Environmental safety</b>	
<i>Ivanenko T.A., Vetrova N.M.</i> ENGINEERING AND ECOLOGICAL ASPECTS OF RECONSTRUCTION OF COASTAL PROTECTION PROJECTS	77
<i>Mennanov E.M., Mennanov E.E.</i> THE STATE OF THE COASTAL AREAS OF CRIMEA DURING THEIR RECREATIONAL USE	83
<i>List of authors</i>	91
<i>Authors Guide</i>	92

### Уважаемые читатели!

Вы знакомитесь с ещё одним выпуском научно-практического журнала «Строительство и техногенная безопасность», в котором представлены результаты исследований профессорско-преподавательского коллектива Института «Академия строительства и архитектуры» Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Именно в этом вузе строительного профиля готовится данный журнал уже более 30 лет.

Настоящий выпуск, по решению редакционной коллегии, посвящен 65 годовщине со дня образования Института «Академия строительства и архитектуры». Созданный в 1960 году вуз прошел славный путь от филиала до ведущего строительного вуза Крыма. Сохраняя верность традициям, коллектив Института активно осуществляет фундаментальные, поисковые и прикладные эколого-инженерные исследования, генерацию новых знаний в области строительства, проектирования и строительного материаловедения, архитектуры и градостроительства с учётом приоритетов государственной политики в сфере науки и инноваций, потребностей архитектурно-строительного комплекса рекреационного региона.

Сегодня научные коллективы кафедр Института исследуют и совершенствуют современные технологии строительного производства, технологии эффективных строительных материалов и изделий, методы разработки и проектирования строительных конструкций в сложных инженерно-геологических условиях, энергоэффективных инженерных систем зданий и сооружений; развивают принципы биосферной совместимости объектов строительства, решают проблемы, природопользования, экологической безопасности и инженерного обустройства территорий; разрабатывают современные подходы к формированию комфортной и эстетичной архитектуры и градостроительных планов, а также развития инновационно-инвестиционного потенциала экономики региона.

На счету коллектива Института «Академия строительства и архитектуры» множество покорённых вершин, ярких побед и заслуженных наград. Высокий интеллектуальный потенциал преподавателей и сотрудников и в наше время позволяет вузу активно участвовать в укреплении российской высшей школы, развитии науки и инноваций, воспитывать новые поколения инженеров-строителей.

Пусть этот юбилейный год объединит коллектив Института «Академия строительства и архитектуры» Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского в стремлении развивать традиции инновационного развития и станет стартом для новых свершений!

Проректор по научной деятельности  
Крымского федерального университета  
имени В.И. Вернадского, д.т.н., профессор



В. Любомирский

## Раздел 1. Градостроительство

УДК 711.455(210.5)

### ОРГАНИЗАЦИЯ ДОСТУПНОЙ СРЕДЫ ПРИБРЕЖНЫХ РЕКРЕАЦИОННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В г. ЯЛТА

Сидорова В.В.<sup>1</sup>, Малюгин А.В.<sup>2</sup>

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

**Аннотация.** В связи с нарастающим процессом урбанизации городской среды и повышенном туристическом интересе в г. Ялта, существует потребность в создании доступных полноценных рекреационных мест отдыха. В настоящее время очень важным является проектирование, реконструкция и благоустройство общественных рекреационных территорий на принципах универсального дизайна для всех категорий горожан и отдыхающих, в том числе людям с ограниченными возможностями, иметь равные условия в получении необходимых эмоций от общения с природой, комфортного отдыха, променада для поддержания психического и физического здоровья. В статье изучена проблема благоустройства труднодоступных прибрежных территорий и предложены возможные практические поисковые решения.

**Предмет исследования:** предметом исследования являются прибрежные рекреационные территории г.Ялта, требующие благоустройства и адаптации для всех категорий граждан, в том числе для маломобильных групп населения.

**Материалы и методы:** исследование построено на комплексном анализе существующей ситуации. Применены методы: сравнительный анализ, натурное обследование, фотофиксация, дедукция, теоретический анализа и синтез, метод аналогии.

**Результаты:** в проведенном исследовании на основе анализа проблемных участков прибрежных рекреационных территорий г. Ялта, обобщения наиболее успешного опыта проектирования и строительства набережных и других прибрежных общественных пространств, выявления приемов оборудования территорий для маломобильных групп населения выполнена экспериментальная проектная модель решения сложившихся проблем.

**Выводы:** полученные результаты являются актуальными для решения проблемных участков приморских территорий и могут быть внедрены частично или полностью в реальное проектирование, благоустройство набережных и пешеходных маршрутов.

**Ключевые слова:** доступная среда, набережная, благоустройство, городская среда, рекреационная зона, ландшафтное проектирование среды, прибрежные городские территории.

### ВВЕДЕНИЕ

История самого популярного крымского курорта г. Ялта прошла практически все те же этапные периоды, которые выпали на долю всего полуострова, особенно его причерноморского побережья.

И хоть прибрежная зона г. Ялта - одно из главных мест притяжения города, на которой находятся множество кафе, ресторанов, отелей, гостиниц, пансионатов, магазинов и других объектов, привлекающих миллионы туристов и путешественников, тем не менее, все еще немалая часть прибрежной рекреационных территории находится в удручающем состоянии, и вся прибрежная зона не имеет единой доступной среды для комфортного передвижения местных жителей и отдыхающих. Центральная набережная, Массандровская набережная и Приморская набережная – самые посещаемые и обустроенные места города, но даже их пешеходная структура не удовлетворяет все категории граждан, особенно маломобильные группы населения. Кроме того, большая часть прибрежной рекреационной зоны Большой Ялты, включающей в себя пляж

Солнечный, Дельфин, Лодочный, Ливадийский и другие, расположенные на всей прибрежной территории от пгт. Ливадии до грузового порта не имеют доступной и обустроенной прогулочной инфраструктуры, которая позволяла бы удобно и комфортно прогуливаться людям из одной прибрежной части Ялты в другую, а некоторые пляжные зоны, такие как Ливадийский пляж и вовсе находятся в аварийном состоянии и находятся на их территории опасно для жизни и здоровья.

Решением этой проблемы является создание единой доступной среды в виде променадной зоны на всей прибрежной территории г. Ялта от Ливадии до грузового порта, что раскроет весь курортно-рекреационный потенциал, улучшит качество и комфортность отдыха, сделает удобным и безопасным пребывание на набережных всех жителей и гостей курорта.

Доступная среда - это окружающая среда, в которой отсутствуют или сведены к минимуму физические барьеры для людей с инвалидностью или для других маломобильных групп населения.

Целью исследования является анализ проблемных участков прибрежных рекреационных территорий с учетом их специфики и требований к

современной проблеме формирования комфортной архитектурно-градостроительной среды с разработкой экспериментального проектного решения. В данном исследовании поставлен ряд задач, а именно:

- изучить сложившуюся архитектурно-градостроительную ситуацию прибрежной территории г.Ялта;
- проанализировать отечественный и зарубежный опыт проектирования качественных прибрежных общественных пространств и доступной среды на прибрежных рекреационных территориях;
- предложить экспериментальную модель перспективного генерального плана участка проектирования.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Развитием, реконструкцией и созданием набережных территорий в своих трудах занимались: Цитман Т. и Алимова Ю.Р. [1]; Калмыкова К.А. и Шктова О.В. [2]; Скоболева А.Ю. [3]; Сокол О.В и Сидорова В.В. [4-7], Живица В.В., Суворов А.И., Эрайзер А.А. [6]. В научной статье Магомедова А.Г. [8] проанализированы проблемы формирования доступной среды для инвалидов и пути решения данной проблемы. Подпорина П.С., Смолина О.О. в статье [9] провели анализ подходов к функциональному зонированию речных набережных и их предметно-пространственному наполнению, но полученные результаты применимы и для приморских набережных. Рыбаченко Г. [10] обобщил европейский опыт для применения в России. Kukanja M., Planinc S. [11] изучили доступность общественных ресторанов для людей с ограниченными возможностями. Alice Sediva Neckarova [12] изучила доступность туристических достопримечательностей для людей с ограниченными возможностями передвижения и нарушениями зрения в городе Йиглава. В книге Elizabeth Macdonald [13] рассматриваются набережные как ключевые общественные национальные достопримечательности по всему миру. О том, как в России благоустраивают городские набережные [14] пишут в газетах.

Анализ приведенных публикаций свидетельствует о том, что вопрос создания комфортных общественных территорий, в том числе набережных, актуален и популярен, широко исследуется по всему миру, однако, не достаточное внимание уделено доступности этих территорий для маломобильных групп населения.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

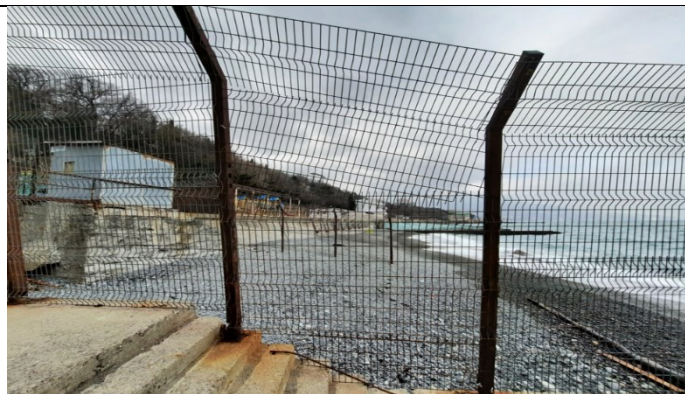
В ходе исследования был применен анализ мировых аналогов, проводились натурные обследования и фотофиксация территории. Для выявления исторической закономерности развития территории применяется сравнительный анализ прошлого и настоящего. Для выявления мировых тенденций и закономерностей анализируются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

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Привлечение отдыхающих и туристов - одна из важнейших задач для развития курортного города. Комплексное развитие доступной среды прибрежных рекреационных территорий позволит привлечь для отдыха все категории граждан, увеличив туристический поток, а также повысит уровень комфортности и привлекательности территорий для проживания. Для обоснования принятых решений по устранению сложившихся проблем в прибрежной зоне было проведено натурное обследование территории г.Ялта с фотофиксацией в таблице 1.

**Таблица 1.** Фотофиксация территории  
**Table 1.** Photo recording of the territory

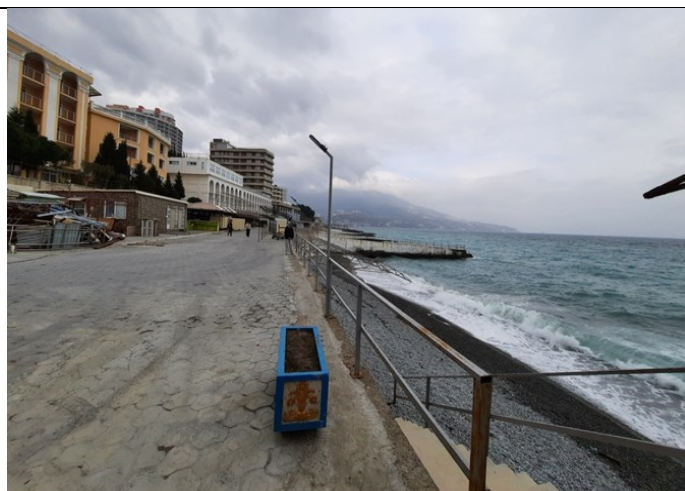
	<p>При входе на Ливадийский пляж мы видим часть его пляжных карт, находящихся в аварийном состоянии.</p>
-------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------



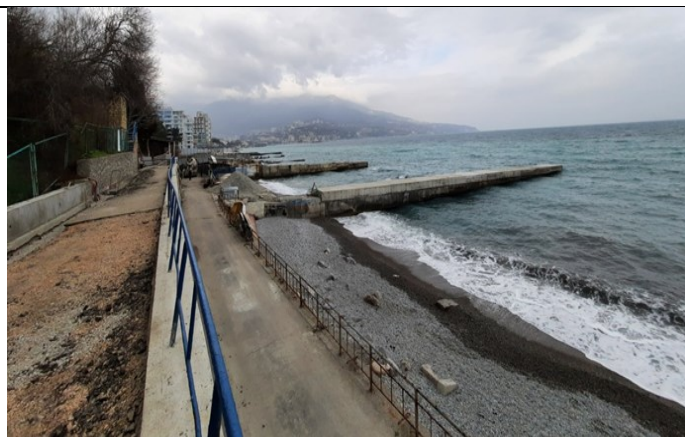
За Ливадийским пляжем расположены закрытые пляжные территории, относящиеся к санаторию Черноморье. Доступа на эти пляжные карты для местных жителей и большинства туристов отсутствует.



Для обхода данной закрытой территории и для продвижения в сторону городского пляжа «Дельфин» люди пользуются неудобной, тесной и неблагоустроенной пешеходной тропой вдоль заборов закрытых пляжных территорий.



Далее прогуливаясь, мы попадаем на территорию пляжа Дельфин. На этот пляж можно попасть также спустившись вниз по ул. Виноградской, которая берет свое начало в Ливадии. Пляжные карты «Дельфина» находятся в удовлетворительном состоянии, галечное покрытие пляжей ежегодно обновляется. Буны, за некоторым исключением, находятся в удовлетворительном состоянии, но плиточное покрытие пешеходной части пляжа деформировано и неравномерно.



Затем начинается территория пляжей «Лодочный» и «Солнечный», реконструкция берегоукрепительных сооружений этих пляжей была проведена. А вот дальнейшее благоустройство и создание доступной среды вдоль пляжных зон так не были закончены, из-за чего эти прибрежные территории находятся в запущенном состоянии. Поэтому передвижение по этому участку крайне затруднительное.





	<p>Пройдя по малодоступным и неблагоустроенным территориям мы попадаем на знаменитую центральную набережная им. Ленина., протянувшаяся на несколько километров до Морского вокзала. Верхняя и нижняя часть набережной находятся в хорошем состоянии, но местами набережная нуждается в реконструкции и создании доступной среды, особенно нижняя часть прогулочной зоны, на которой отсутствуют пандусы.</p>
	<p>Далее мы попадаем на территорию Массандровского пляжа. Данная территория благоустроена и находится в надлежащем состоянии. Здесь создана доступная среда. Есть все необходимое для комфортного отдыха всех категорий граждан. Пляжные карты чистые и благоустроены.</p>
	<p>За Массандровским пляжем находится территория дома отдыха «Актер» и отеля «Ялта-Интурист». Пляжные карты здесь находятся в запущенном состоянии и местами они закрыты для общего посещения. Не везде присутствует доступная среда, отсутствуют пандусы и удобные пешеходные покрытия.</p>

Таким образом, в результате проведенного натурного анализа и фотофиксации территории можно с уверенностью заявить, что прибрежные рекреационные территории г.Ялта далеко не везде имеют цельную доступную среду и нуждаются в ее создании.

Для качественной городской среды важно выявить лучшие мировые практики, определить потребности пользователей, выявить специфику функционального наполнения и современные тенденции по архитектурному развитию и благоустройству. В связи с этим произведен анализ

отечественного и зарубежного опыта, результаты которого отображены далее по тексту в таблице 2.






**Таблица 2.** Лучшие отечественные и зарубежные прибрежные рекреационные территории  
**Table 2.** The best domestic and foreign coastal recreational areas

<p><b>Страна, город, название объекта. Описание и особенности.</b></p>	<p><b>Изображение</b></p>
<p>Россия, г. Сочи.                      Набережная Ривьера – это первое современное общественное пространство в Сочи. Ключевые элементы пляжа – деревянный закатный амфитеатр, совмещенный с 24-метровой каскадной пандусной лестницей, площадки для воркаута. Создана доступная среда. Также для набережной были разработаны оригинальные МАФы [9].</p>	
<p>ЮАР, Кейптаун. Victoria &amp; Alfred Waterfront                      Самая живописная набережная Африки названа в честь королевы Виктории и ее сына Альфреда, который лично поучаствовал в её строительстве в 1867 году. Часовая башня, сохранившаяся со времён викторианской эпохи, разводной мост, колесо обозрения, аквариум с ручными пингвинами. Набережная имеет удобное покрытие и создана доступная среда. Отсюда открывается невероятный вид на один из главных символов Кейптауна – Столовую гору [10].</p>	
<p>Бразилия, г. Рио-де Жанейро. Avenida Atlântica                      Это самая известная 4-километровая набережная Нового Света.                      Главное ее украшение – песочные скульптуры, постоянно обновляющиеся местными художниками. Маскарады, фейерверки и прочие народные гуляния есть атрибуты Авенида Атлантика, главным из которых является массовая встреча Нового года. На побережье создана доступная среда, удобная для передвижения.                      На набережной часто проводятся большие концерты Бразилии [10].</p>	
<p>Россия, г. Владивосток. Набережная Цесаревича.                      Набережная особенно популярна среди молодежи Владивостока. Она оборудована доступной средой. Имеется много места для лонгбординга и езды на велосипеде, концептуальные художественные инсталляции, такие как огромная шахматная доска и «мост любви» для людей, которые ищут идеальное место для стильных снимков [10].</p>	

В ходе исследования были изучены нормативные документы по доступной городской среде, выявлены наиболее успешные, удобные и безопасные примеры применения специальных приёмов доступности для маломобильных групп

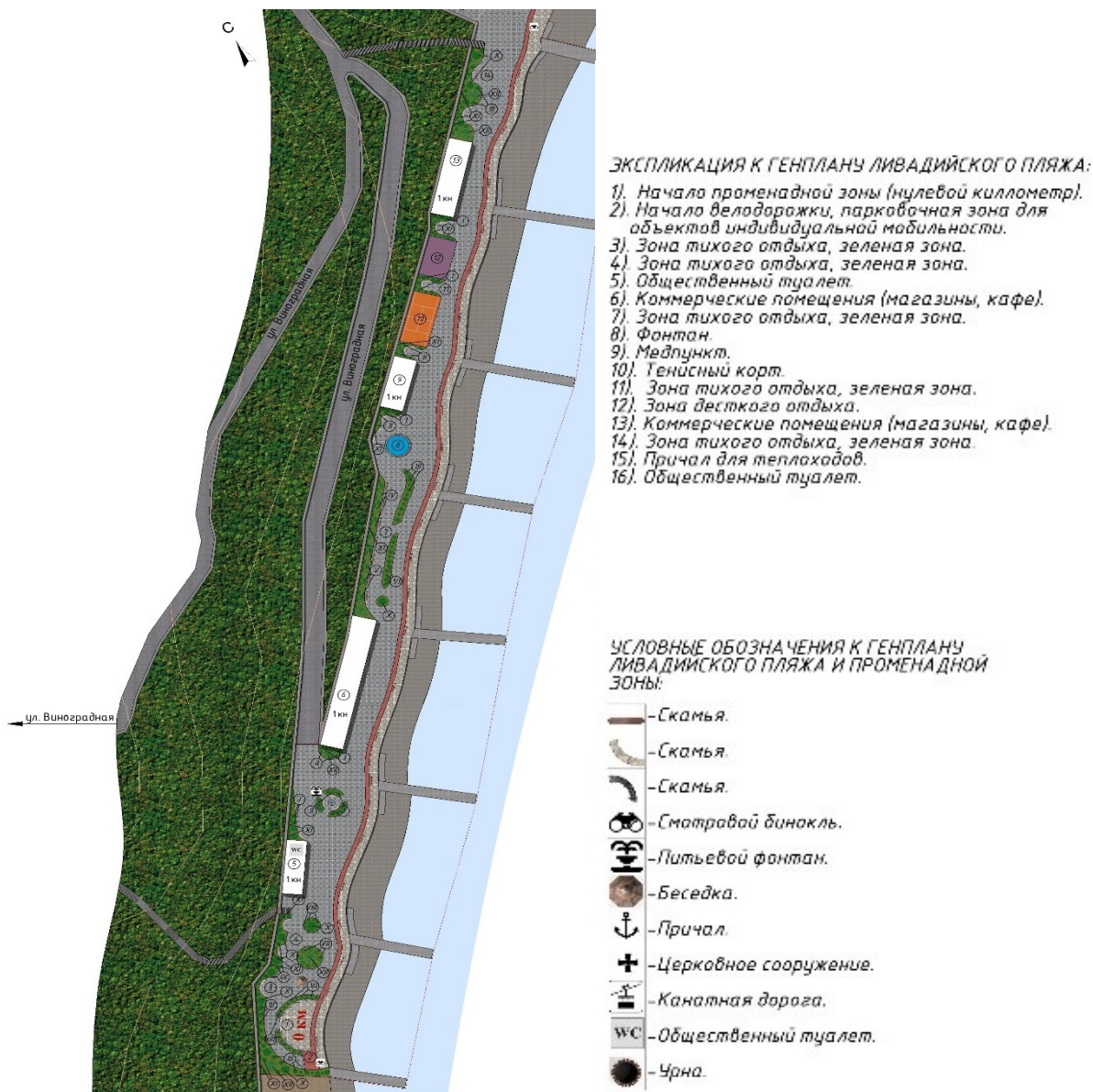
населения, в частности колясочников и слабовидящих. В таблице 3 представлен систематизированный опыт применения средств для организации доступной городской среды, который может быть применен также для набережных.

**Таблица 3.** Примеры объектов и приспособлений для организации доступной среды.  
**Table 3.** Examples of objects and devices for organizing an accessible environment.

	<p>Удобное тактильное покрытие на прогулочной территории для различных групп населения. Могут быть применены на участках променадной зоны.</p>
	<p>Пример организации доступной среды с пандусами для передвижения по склону с лестницами. Отличный вариант создания доступной среды, т.к в Ялте множество лестничных подъемов и склонов.</p>
	<p>Удобный многофункциональный спуск к морю для разных групп населения. Должны быть применены для организации доступной среды на пляжных картах.</p>
	<p>Пример использования подъемников на лестницах. Могут быть применены на участках лестниц параллельно с пандусами в качестве альтернативы.</p>
	<p>Указатели на стенах и путях передвижения для людей с ограниченными возможностями зрения. Могут быть применены на участках променадной зоны с подпорными стенами вдоль прогулочных зон.</p>

На основе анализа мирового и отечественного опыта, а также примеров объектов и приспособлений для организации доступной среды, был сформирован образ участка генерального плана

прибрежной полосы г.Ялта. На рисунках 1, 2 представлены проектные решения доступного пляжа.



**Рис. 1.** Экспериментальная модель организации доступной среды прибрежных рекреационных территорий на Ливадином пляже

**Fig. 1.** An experimental model of the organization of an accessible environment of coastal recreational areas on Livadia beach

В настоящее время в г.Ялта отсутствует единая доступная среда рекреационных прибрежных территорий. В результате анализа выявлено, что лишь некоторые территории и пляжные карты являются благоустроенными анклавами с доступной средой для всех категорий местных жителей и отдыхающих. Таким образом, проектируемая экспериментальная модель соединит всю прибрежную рекреационную территорию. Форма схемы генерального плана продиктована рельефом, окружающей застройкой с одной стороны, морским побережьем с запада территории Ливадиного пляжа, с востока граница примыкает

к грузовому порту. На схеме генерального плана мы видим начало променадной зоны (так называемый нулевой километр), парковочную зону для объектов индивидуальной мобильности, красным цветом обозначена велодорожка. Территория разделена на следующие функциональные зоны: зона тихого отдыха, озелененная зона; зона детского отдыха; зона коммерческого назначения (кафе и магазины); спортивная зона (теннисный корт). Территория оснащена туалетом, медпунктом, причалом, малыми архитектурными формами: беседками, скамьями, питьевым фонтаном, теневыми навесами, информационными стендами и навигацией для

слабовидящих. Предусмотрено специальное покрытие пешеходной зоны для слабовидящих. Уклоны выполнены в пределах допустимой нормы для колясочников. Спуски на пляж оборудованы

широкими пандусами. В целом, общий вид на экспериментальную проектную модель представлен на рис.2.



**Рис. 2.** Визуализация экспериментальной модели организации доступной среды прибрежных рекреационных территорий на Ливадийском пляже

**Fig. 2.** Visualization of an experimental model for the organization of an accessible environment of coastal recreational areas on Livadia beach

## ВЫВОДЫ

Создание доступной среды прибрежных рекреационных территорий в г.Ялта является одной из важнейших и актуальных проблем. Набережные играют большую роль в структуре курортного города. А грамотно спроектированная прогулочная зона может значительно повысить качество городской среды. Людям нужно и важно иметь возможность прийти в место, где они смогут качественно отдохнуть и интересно провести время.

Набережная всегда должна быть привлекательной и удобной для всех возрастных и социальных групп населения в любое время года. Прибрежная территория может выглядеть современно и стильно, но, если по ней неудобно гулять, туда будет ограничен доступ. Важным принципом проектирования должна быть продуманная конфигурация пешеходного маршрута для разных групп горожан – пенсионеров, матерей с детьми, велосипедистов, молодых пар и маломобильных групп населения. На прибрежной территории может быть чередование разных пешеходных участков или просто широкий бульвар с локальными точками притяжения: кафе, фонтанами, смотровыми площадками, информационной навигацией и другими объектами комфортной инфраструктуры. Для безопасности и удобства набережная должны быть оснащена пандусами - доступной средой для маломобильных граждан. Таким образом получится создать доступную среду прибрежных рекреационных территорий.

В результате проведенного исследования были выявлены основополагающие проблемные участки

прибрежных рекреационных территорий с учетом их специфики и требований к современной проблеме формирования комфортной архитектурно-градостроительной среды для организации доступной среды. Был проанализирован отечественный и зарубежный опыт по созданию доступной среды. Изучена градостроительная ситуация. Предложена экспериментальная модель перспективного генерального плана участка. В проекте были заложены все необходимые средства по обеспечению доступной среды для маломобильных групп населения и качественное благоустройство общественных зон. Разработан пошаговый план создания доступной среды прибрежных рекреационных территорий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цитман Т. О. Современные решения набережных/ Т. О. Цитман, Ю. Р. Алимова. – Текст : электронный // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2016. № 3 (17). С. 9–14. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-resheniya-naberezhnyh/viewer>
2. Калмыкова К.А. Благоустройство городских набережных / К.А. Калмыкова, О.В. Шкотова // Академическая публицистика. 2019.- №12. - С.297-303.
3. Скобелева А. Ю. Принципы архитектурно планировочной реконструкции

городских набережных // Стратегия развития современной науки. 2017. - С. 75-77.

4. Сидорова В.В. Развитие современных приморских набережных / В.В. Сидорова, О.В. Сокол // Строительство и техногенная безопасность; Научн.-техн. сборник. – Симферополь: НАПКС. – 2011. – Вып. 38. – С.13-21.

5. Сидорова В.В. Архитектурно-градостроительное развитие улицы Симферопольской в городе Евпатория [Электронный ресурс]/ В.В. Сидорова, М.Т. Петислямова // Строительство и техногенная безопасность. — 2024. — № 32(84). — с.13-22. — DOI: 10.29039/2413-1873-2024-32-13-22.

6. Сидорова В.В. Принципы реконструкции общественных пространств в границах прибрежных территорий, на примере пгт. Черноморское Республики Крым / В.В. Сидорова, В.В. Живица, А.И. Суворов, А.А. Эрайзер // Строительство и техногенная безопасность; Научн.-техн. сборник. – Симферополь. – №22(74) - 2021. – С.29-41.

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

8. Магомедова А.Г. Проблемы формирования доступной среды для инвалидов / А.Г. Магомедова // Юридический вестник ДГУ. Т.36. 2020. №4. - С. 117-120.

9. Подпорина П.С. Анализ современных подходов к функциональному зонированию набережных и их предметно-пространственному наполнению / П.С. Подпорина, О.О. Смолина // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 3. С. 47–62. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-3-47-62. EDN: VSYSFS

10. Рыбаченко Г. Благоустройство набережных. Бережное отношение к набережным. – Текст : электронный // СИБДОМ. Журнал. Городские проекты. – URL: <https://www.sibdom.ru/journal/1153/> (дата обращения: 19.02.2025). – Текст : электронный.

11. Kukanja M., Planinc S.: Are we discriminating towards guests with disabilities: Accessibility analyses of public restaurants facilities in The Republic of Slovenia. SPATIUM No. 49, June 2023, pp. 75-86 DOI: <https://doi.org/10.2298/SPAT221028002K>. – URL: <https://spatium.rs/index.php/home/article/view/431/241> (дата обращения: 19.02.2025).

12. Alice Sediva Neckarova Accessibility of Tourist Attractions to People with Mobility Impairments and People with Visual Impairments in the Town of Jihlava. International Journal of Management Science and Business Administration Volume 2, Issue 8, July 2016, Pages 7-15 DOI: 10.18775/ijmsba.1849-5664-5419.2014.28.1001. – URL: <http://dx.doi.org/10.18775/ijmsba.1849-5664-5419.2014.28.1001>

13. Urban Waterfront Promenades, by Elizabeth Macdonald, New York, Routledge, 2018, 298 pp., (paperback), ISBN 978 1 138 82421 8

14. Белова И., Камаева А., Мерзляков Р. Как в России благоустраивают городские набережные / И. Белова, А. Камаева, Р. Мерзляков // Российская газета - Федеральный выпуск: сайт. - №113(8464). – URL: <https://rg.ru/2021/05/25/reg-ufo/kak-v-rossii-blagoustraivaiut-gorodskie-naberezhnye.html> (дата обращения: 19.02.2025). – Текст : электронный.

15. Архитектура России и мира. ARCHI.RU: сайт. - URL: <https://archi.ru/> (дата обращения: 19.02.2025). – Текст : электронный.

16. Ржанников Д. 12 самых живописных морских набережных мира: сайт. - URL: <https://www.onetwothree.com/ru/blog/journeys/12-the-most-beautiful-seafront-in-the-world/> (дата обращения: 19.02.2025). – Текст : электронный.

## REFERENCES

1. Citman T. O. Sovremenny'e resheniya naberezhny'x/ Т. О. Citman, Yu. R. Alimova. – Текст : e`lektronny`j // Inzhenerno-stroitel'ny`j vestnik Prikaspiya : nauchno-texnicheskij zhurnal / Astraxanskij gosudarstvenny`j arxitekturo-stroitel'ny`j universitet. Astraxan` : GAOU AO VO «AGASU», 2016. № 3 (17). S. 9–14. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-resheniya-naberezhnyh/viewer>

2. Kalmy`kova K.A. Blagoustrojstvo gorodskix naberezhny`x / K.A. Kalmy`kova, O.V. Shkotova // Akademicheskaya publicistika. 2019.-№12. - S.297-303.

3. Skobeleva A. Yu. Principy` arxitekturno planirovochnoj rekonstrukcii gorodskix naberezhny`x // Strategiya razvitiya sovremennoj nauki. 2017. - S. 75-77.

4. Sidorova V.V. Razvitie sovremenny`x primorskix naberezhny`x / V.V. Sidorova, O.V. Sokol // Stroitel'stvo i texnogennaya bezopasnost'; Nauchn.-texn. sbornik. – Симферополь: NAPKS. – 2011. – Вы`p. 38. – С.13-21.

5. Sidorova V.V. Arxitekturno-gradostroitel`noe razvitie ulicy Simferopol'skoj v gorode Evpatoriya [E`lektronny`j resurs]/ V.V. Sidorova, M.T. Petislyamova // Stroitel'stvo i texnogennaya bezopasnost`. — 2024. — № 32(84). — с.13-22. — DOI: 10.29039/2413-1873-2024-32-13-22.

6. Sidorova V.V. Principy` rekonstrukcii obshhestvenny`x prostranstv v granicax pribrezhny`x territorij, na primere pgt. Chernomorskoe Respubliki Kry`m / Sidorova V.V., Zhivicza V.V., Suvorov A.I., E`rajzer A.A. // Stroitel'stvo i texnogennaya bezopasnost'; Nauchn.-texn. sbornik. – Симферополь. – №22(74) - 2021. – С.29-41.

7. Sidorova V.V. Gradostroitel`naya terminologiya primenitel`no k primorskim territoriyam na primere Bol'shoj Alushty` / V.V. Sidorova // Містобудування та територіальне планування: Научн.-техн. сборник. –К.: КНУБА. – 2011. –Вы`p. 39. – С. 348-352.

8. Magomedova A.G. Problemy` formirovaniya dostupnoj sredy` dlya invalidov / A.G. Magomedova // Yuridicheskij vestnik DGU. T.36. 2020. №4. - S. 117-120.
9. Podporina P.S. Analiz sovremenny`x podxodov k funkcional`nomu zonirovaniyu naberezhny`x i ix predmetno-prostranstvennomu napolneniyu / P.S. Podporina, O.O. Smolina // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel`nogo universiteta. 2024. T. 26. № 3. S. 47–62. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-3-47-62. EDN: VSYSFS
10. Ry`bachenko G. Blagoustrojstvo naberezhny`x. Berezhnoe otnoshenie k naberezhny`m. – Tekst : e`lektronny`j // SIBDOM. Zhurnal. Gorodskie proekty`. – URL: <https://www.sibdom.ru/journal/1153/> (data obrashheniya: 19.02.2025). – Tekst : e`lektronny`j.
11. Kukanja M., Planinc S.: Are we discriminating towards guests with disabilities: Accessibility analyses of public restaurants facilities in The Republic of Slovenia. SPATIUM No. 49, June 2023, pp. 75-86 DOI: <https://doi.org/10.2298/SPAT221028002K>. – URL: <https://spatium.rs/index.php/home/article/view/431/241> (data obrashheniya: 19.02.2025).
12. Alice Sediva Neckarova Accessibility of Tourist Attractions to People with Mobility Impairments and People with Visual Impairments in the Town of Jihlava. International Journal of Management Science and Business Administration Volume 2, Issue 8, July 2016, Pages 7-15 DOI: 10.18775/ijmsba.1849-5664-5419.2014.28.1001. – URL: <http://dx.doi.org/10.18775/ijmsba.1849-5664-5419.2014.28.1001>
13. Urban Waterfront Promenades, by Elizabeth Macdonald, New York, Routledge, 2018, 298 pp., (paperback), ISBN 978 1 138 82421 8
14. Belova I., Kamaeva A., Merzlyakov R. Kak v Rossii blagoustraivayut gorodskie naberezhny`e / I. Belova, A. Kamaeva, R. Merzlyakov // Rossijskaya gazeta - Federal`ny`j vy`pusk: sajt. - №113(8464). – URL: <https://rg.ru/2021/05/25/reg-ufo/kak-v-rossii-blagoustraivaiut-gorodskie-naberezhnye.html> (data obrashheniya: 19.02.2025). – Tekst : e`lektronny`j.
15. Arhitektura Rossii i mira. ARCHI.RU: sajt. - URL: <https://archi.ru/> (data obrashheniya: 19.02.2025). – Tekst : e`lektronny`j.
16. Rzhannikov D. 12 samy`x zhivopisny`x morskix naberezhny`x mira: sajt. - URL: <https://www.onetwotrip.com/ru/blog/journeys/12-the-most-beautiful-seafront-in-the-world/> (data obrashheniya: 19.02.2025). – Tekst : e`lektronny`j.

## ORGANIZATION OF AN ACCESSIBLE ENVIRONMENT OF COASTAL RECREATIONAL AREAS IN YALTA

Sidorova V.V.<sup>1</sup>, Malyugin A.V.<sup>2</sup>

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Academy of construction and architecture,  
181, Kievskaya str., Simferopol, 295050, Russian Federation  
E-mail: <sup>1</sup> nucikBBC@yandex.ru <sup>2</sup> andrey.malugin@bk.ru

**Annotation.** Due to the growing process of urbanization of the urban environment and increased tourist interest in Yalta, there is a need to create affordable full-fledged recreational recreation areas. Currently, it is very important to design, reconstruct and beautify public recreational areas based on the principles of universal design for all categories of citizens and vacationers, including people with disabilities, to have equal conditions in obtaining the necessary emotions from communicating with nature, comfortable rest, and a promenade to maintain mental and physical health. The article examines the problem of landscaping hard-to-reach coastal areas and suggests possible practical search solutions.

**Subject of the study:** the subject of the study is the coastal recreational areas of Yalta, which require improvement and adaptation for all categories of citizens, including those with limited mobility.

**Materials and methods:** the study is based on a comprehensive analysis of the current situation. The following methods are applied: comparative analysis, field examination, photo fixation, deduction, theoretical analysis and synthesis, method of analogy.

**Results:** in the conducted study, based on the analysis of problematic areas of coastal recreational areas in Yalta, generalization of the most successful experience in designing and building embankments and other coastal public spaces, identification of techniques for equipping territories for low-mobility groups of the population, an experimental design model for solving existing problems was performed.

**Conclusions:** the results obtained are relevant for solving problematic areas of coastal territories and can be partially or completely implemented in the actual design, improvement of embankments and pedestrian routes.

**Key words:** accessible environment, embankment, landscaping, urban environment, recreational area, landscape design of the environment, coastal urban areas.



## Раздел 2. Строительство

УДК 624.151.1

### ПОЛЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ ФУНДАМЕНТОВ ОБЪЕКТА АЭРОПОРТОВОГО КОМПЛЕКСА «СИМФЕРПОПОЛЬ»

Родин<sup>1</sup> С.В., Богуцкий<sup>2</sup> Ю.Г., Богуцкий<sup>3</sup> Г.А., Калафатов<sup>4</sup> Д.А.

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского. Институт «Академия строительства и архитектуры»  
295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181  
E-mail: sv\_rodin@mail.ru<sup>1</sup>, bogutskiyyg@mail.ru<sup>2</sup>, bogutskiyga@mail.ru<sup>3</sup>, jafer90@mail.ru<sup>4</sup>

**Аннотация.** Целью настоящего исследования является оценка несущей способности буронабивных свай (БНС) сплошного сечения диаметром 600 мм с закреплением стенок скважин инвентарными извлекаемыми обсадными трубами на строительной площадке Международного аэропорта им. И.К. Айвазовского в г. Симферополь. Проведены полевые статические испытания двух БНС согласно рабочего проекта и требованиям действующей нормативной документации, выполнен анализ полученных результатов. На основании проведенных экспериментальных исследований сделан вывод о целесообразности учёта нормативных значений осадок при определении несущей способности свай по грунту. Выполнено сопоставление результатов полевых испытаний с расчётными значениями, определенными в соответствии с рекомендациями СП 24.13330.2011. Отмечено, что за критерий фактической несущей способности следует принимать нагрузку, соответствующую контрольному значению.

**Предмет исследования:** БНС сплошного сечения диаметром 600 мм с закреплением стенок скважин инвентарными извлекаемыми обсадными трубами на строительном объекте Международного аэропорта им. И.К. Айвазовского в г. Симферополь.

**Материалы и методы:** инженерно-геологические условия площадки строительства, проектная документация по фундаментным конструкциям объекта, реализован метод полевых испытаний грунтов сваями.

**Результаты:** параметры измерений контролируемых вдавливающих нагрузок и перемещений - осадок БНС представлены в табличной форме и графиков с использованием программного обеспечения Excel.

**Выводы:** проведенные полевые испытания подтверждают величину расчётно-допускаемой нагрузки на БНС, принятую на стадии проектирования, что обосновывает надежность и эффективность конструктивного решения, заложенного в проект.

**Ключевые слова:** буронабивная свая (БНС), вдавливание, несущая способность, статические испытания, разгрузка, осадка сваи, геотехническое строительство

### ВВЕДЕНИЕ

После воссоединения Крыма с Россией в 2014 году аэропорт Симферополь получил новый импульс развития. В конкурсе на лучший проект аэропортового комплекса приняли участие девять ведущих архитектурных компаний мира. Победителем стала южнокорейская Samoo Architects & Engineers, которая разработала уникальный волнообразный дизайн фасада здания, названный «Крымской волной».

Специалистам лаборатории испытаний и обследований строительных материалов, изделий, конструкций и сооружений инженерингового центра «Биопозитивное строительство и ресурсосбережение» Института «Академия строительства и архитектуры» ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» было предложено принять участие в тендере на выполнение полевых работ по испытаниям свай на объекте - Аварийно-спасательная станция, главным подрядчиком по возведению фундаментов являлась строительная компания ООО «ПЕТРО-ХЭХУА» Китай. Предложенная нами программа испытаний, по

техническим параметрам силового оборудования, применяемым регистрирующим приборам и срокам выполнения, была принята Заказчиком.

В современных условиях строительства, из-за дефицита территорий, выделяемых для строительного освоения, в городских агломерациях, часто на строительных площадках приходится констатировать наличие грунтовых условий, осложненных различными геологическими и техногенными факторами, что обуславливает при устройстве фундаментов зданий и сооружений использование свай как наиболее надежного решения. Применение свайных вариантов фундаментов позволяет обеспечить требуемую надежность и долговечность надземных сооружений, что особенно актуально в сейсмоопасных районах [1,9].

Несущая способность свай является одним из наиболее важных параметров при оценке надежности и эффективности принимаемых конструкторских решений. С практической точки зрения определение несущей способности свай еще до начала проектирования и тем более при устройстве последних считается наиболее важным вопросом, решение которого является необходимым

условием надежности при возведении свайных фундаментов и обеспечения максимального использования несущей способности грунтов основания. Таким образом, совершенствование традиционных методик определения несущей способности свай имеет особую важность в современном геотехническом проектировании, что обуславливает актуальность дальнейшего исследования данного вопроса.

Применение основных положений строительных нормативов, теории упругости, механики грунтов и метода конечных элементов строительной механики позволяет спрогнозировать совместную работу свай и окружающего грунтового массива еще на стадии проектирования. В то же время, все результаты, полученные при выполнении численных расчетов, требуют апробации путём проведения экспериментальных исследований с учётом реальных условий площадки строительства. С этой целью в геотехническом строительстве применяют полевые испытания грунтов натурными или эталонными сваями.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В статье Гайдо А.Н. и Левинтова Г.В. [1] рассматривается методика натуральных статических испытаний грунтов сваями с учетом особенностей современных технологий устройства свайных фундаментов. Исследуются особенности интерпретации результатов испытаний, при которых наблюдался подъем из грунта (выпор) свай. Учитываются также данные последующего геотехнического мониторинга возводимого здания.

В статье Гольдфельда И.З. [2] изучена долевая работа вертикально нагруженной сваи при статических испытаниях грунтов. Представлены результаты натуральных испытаний свай.

В статье Глухова В.С. и Вишняковой Ю.С. [4] предложен метод и даны рекомендации по определению несущей способности свай по результатам вдавливания с учетом процесса фильтрационной консолидации в водонасыщенных глинистых грунтах. Представлены результаты натуральных испытаний свай и выявлены зависимости осадок свай от статической вдавливающей нагрузки в условиях водонасыщенного основания. Приведен практический опыт корректировки свайного поля жилого здания с учетом результатов испытаний.

В статье Глухова В.С., Хряниной О.В. и Глуховой М.В. [5] рассмотрены вопросы расчета по деформациям грунтового основания свай в пробитых скважинах с учетом формирования трехуровневого уширения.

В статье Кобзева А.П., Губатенко М.С. [6] рассмотрено устройство для уплотнения стенок вертикальных скважин, применение которого позволяет сократить затраты по устройству фундаментов на буронабивных сваях, а также повысить несущую способность единичной буронабивной сваи. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований

параметров и структуры вибрационно-радиального снаряда.

В статье Ладыженского И.Г., Сергиенко А.В., Зеленова Ю.В., Гречко Д.А. [7] рассмотрены сваи повышенной несущей способности сборные железобетонные и буронабивные с сердечником. На примере ЖК «Люберецкий» и МЖК на Краснопресненской набережной показаны эффективность использования лидерных скважин, заполненных раствором или бетоном, при погружении сборных железобетонных свай и использования этих свай в качестве сердечников при устройстве буронабивных свай с целью повышения их несущей способности, после чего проведены их статические испытания. В каждом случае приведены результаты статических испытаний, подтверждающих повышение несущей способности свай.

В статье Ланис А.Л., Воробьева В.С., Разуваева Д.А. и Ломова П.О. [8] представлена возможность повышения эффективности проектирования при устройстве набивных свай методом раскатки скважин, решение основано на разработке уточненной методики определения несущей способности таких свай. Проанализирована отечественная и зарубежная нормативная и научная литература по этому вопросу. На основе практического опыта и экспериментальных натуральных исследований на реальных строительных площадках предложен способ расчета, в котором учитываются неравномерность изменения диаметра сваи по глубине, влияние эффекта от уплотнения грунта в околосвайном пространстве, а также фактические прочностные характеристики уплотненного грунта в околосвайном пространстве.

В статье Мырадова Е., Гараджаева А., Гочаковой А., Атаева Б. [10] изложены основные требования к качеству погружения свай, которое является достижением заданной проектом несущей способности. Нагрузка на сваи зависит от глубины, точности и технологии ее погружения, характеристик грунта. Прочность материала является основным определяющим фактором при расчете несущей способности грунта свай-столб, поэтому ее можно рассчитывать методом силы испытательной нагрузки в статических условиях или динамическим методом. Более точную величину несущей способности свай обеспечивают статические испытания.

В статье Тер-Мартirosяна З.Г., Чинь Туана Вьет [13] с учетом сжимаемости ствола сваи изложены решения задачи о взаимодействии длинной сжимаемой сваи с двухслойным линейно-деформируемым основанием. Показано, что учет сжимаемости материала сваи приводит к качественно новому распределению касательных напряжений вдоль поверхности цилиндрических свай. Отмечено, что с ростом длины сваи и жесткости верхней части основания увеличивается доля нагрузки, воспринимаемая боковой поверхностью сваи, и что при определенных

условиях окружающей грунтовой среды нагрузка, воспринимаемая нижней частью основания, может составить 20...30 % от общей нагрузки.

В статье Чернюк В.П., Семенюк С.М., Юськович В.И., Шляховой Е.И. [14] приведены преимущества буронабивных свай с уширениями перед аналогичными сваями без уширений и недостатки забивных свай. Основные достоинства таких свай сводятся к повышенной несущей способности по грунту основания при минимальном расходе бетона на их изготовление. Приведены прогрессивные конструкции устройств и приспособлений для образования уширений в забое скважин, защищенные патентами на изобретения и полезные модели БНС, а также а.с. СССР, и опубликованные научные работы за рубежом. Даны предложения по расчету несущей способности таких свай по грунту основания в связи с его отсутствием в отечественной нормативной литературе.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В рассматриваемой работе анализируются испытания грунтов буронабивными сваями статической вдавливающей нагрузкой на объекте: «Развитие аэропортового комплекса «Симферополь» - Международный аэропорт им. И.К.Айвазовского, Аварийно-спасательная станция. Наблюдательная вышка» (рис.1).

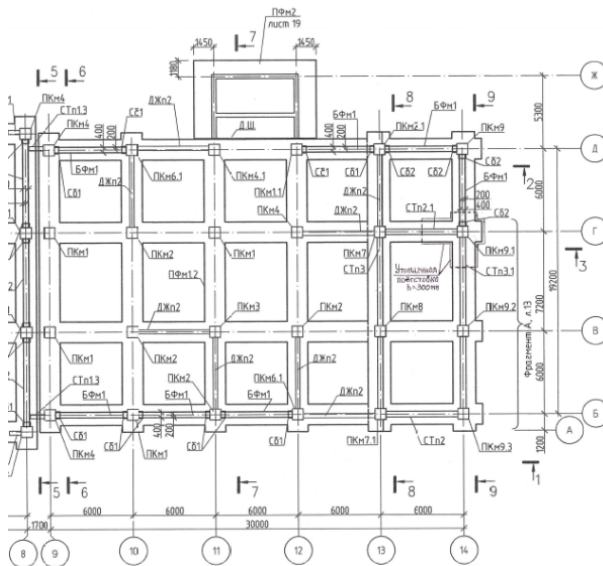


Рис. 1. Свайный ленточный ростверк  
Fig. 1. Pile strip grillage

Согласно рабочим чертежам А-3888-110-КЖ «Развитие аэропортового комплекса «Симферополь», Республика Крым. Фундаменты. Аварийно-спасательная станция (АСС). 2 этап строительства» буронабивные сваи запроектированы монолитными железобетонными с глубиной погружения в грунт 14 м (рис.2).

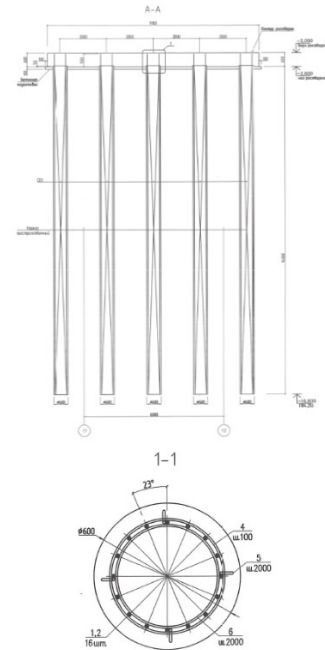


Рис.2. Конструкции буронабивных свай  
Fig. 2. Designs of bored piles

Инженерно-геологические условия на объекте приняты по материалам геологических изысканий, выполненных ООО «Геопроектизыскания» и представлены следующими характеристиками (см. табл.1):

ИГЭ 3п - суглинок слабопросадочный, тяжелый, полутвердый;

ИГЭ 4п - суглинок сильнопросадочный, легкий, полутвердый;

ИГЭ 5 - галечниковый грунт с суглинистым заполнителем;

ИГЭ 6н - глина легкая, полутвердая слабонабухающая;

ИГЭ 8 – песок мелкий средней плотности, средней степени водонасыщения;

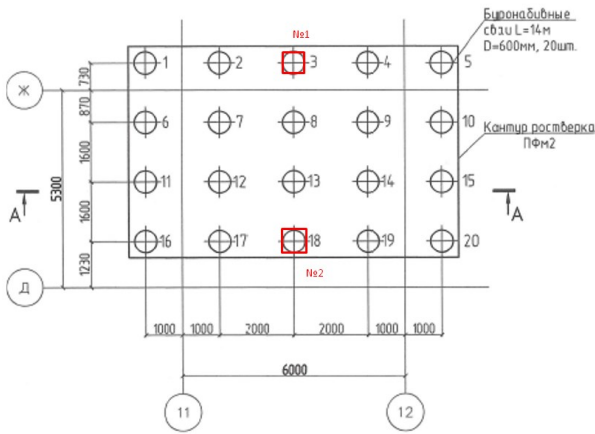
ИГЭ 15 - суглинок тяжелый, полутвердый.

Число испытываемых свай при строительстве в соответствии с приложением А ГОСТ [3] должно составлять при испытании свай статической вдавливающей нагрузкой - до 0,5 % общего числа свай на данном объекте, но не менее 2 шт. На рассматриваемом объекте принято для испытаний 2 сваи (рис.3).

Таблица 1. Физико-механические характеристики грунтов

Table 1. Physical and mechanical characteristics of soils

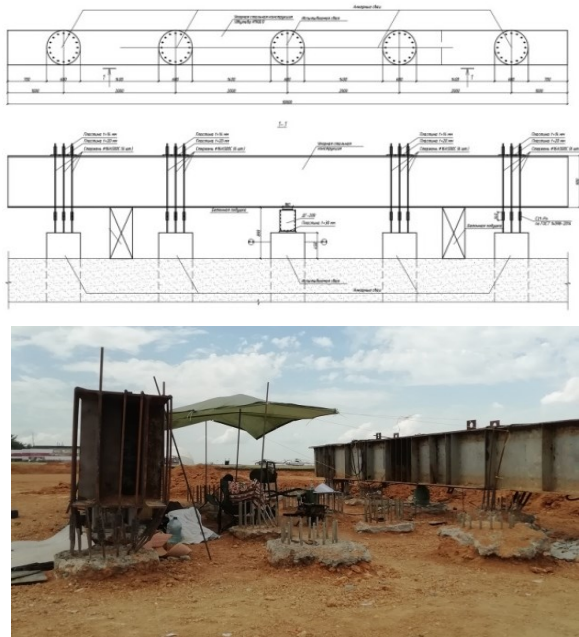
№ ИГЭ	<i>E</i>	$\varphi$	<i>C</i>	<i>I<sub>t</sub>/e</i>	$\gamma$
	МПа	град.	кПа		кН/м <sup>3</sup>
3п	14	14	31	0,04	17,8
4п	9	18	16	0,02	16,9
5	32	22	11	0,12	20,1
6н	14	20	33	0,03	19,2
8	25	30	1	0,63	17,9
15	19	17	31	0,08	19,6



**Рис. 3. Маркировка испытываемых свай**  
**Fig. 3. Marking of tested piles**

Целью настоящих испытаний является выполнение обязательных требований по инженерно-геологическим испытаниям для получения показателей статического зондирования (см.п. 5.3, 5.4 СП [11]). Также использовали дополнительную техническую литературу [9,12].

Статические испытания свай производились в соответствии с требованиями ГОСТ [3]. Оснастка для проведения полевых испытаний представлена на рис. 4.



**Рис. 4. Оснастка для проведения полевых испытаний**  
**Fig. 4. Equipment for field testing**

Порядок испытаний:

1. Нагрузка на испытываемую сваю создавали системой, состоящей из гидравлического домкрата ДГ-200 и стальной балки, закрепленной с анкерными сваями, позволяющей получить конечную вертикальную статическую нагрузку на сваю  $P$ , указанную в техническом задании, при которой осадка сваи достигает значения  $S$  по п.7.3.5 СП [11] или нагрузку, доведенную до

значения, вызывающего осадку сваи более 40 мм на уровне приложения нагрузки с условной стабилизацией осадки в соответствии с ГОСТ [3].

2. Расстояние от оси испытываемой натурной сваи до анкерной сваи составило 1,55...1,7 м.

3. Испытания грунтов сваями выполняли после достижения бетоном свай 90% проектной прочности.

4. Количество измерительных приборов - 2.

5. Наибольший прогиб стальной балки, служащей упором для домкрата, был не более 0,004 ее расчетного пролета.

6. Нагружение испытываемой сваи производили равномерно, без ударов, ступенями нагрузки, значение которых принимали для первых трех ступеней равными 1/5 расчетной нагрузки, остальные по 1/10 от расчетной нагрузки. Всего 7 ступеней нагружения.

7. На каждой ступени нагружения снимали отсчеты по всем приборам для измерения деформаций в следующей последовательности:

- нулевой отсчет перед нагружением сваи;
- первый отсчет сразу после приложения нагрузки;
- затем последовательные отсчеты через каждые 30 мин наблюдений до условной стабилизации деформаций (затухания осадки).

8. За критерий условной стабилизации деформаций принимали скорость осадки сваи на данной ступени нагружения, не превышающую 0,1 мм за последние 60 мин наблюдений.

9. Разгрузку сваи проводили после достижения наибольшей нагрузки ступенями, равными удвоенным значениям ступеней нагружения, с выдержкой каждой ступени не менее 15 мин. Отсчеты по приборам для измерения деформаций снимали сразу после каждой ступени разгрузки и через 15 мин наблюдений.

10. После полной разгрузки (до нуля) наблюдения за упругим перемещением сваи проводили в течение 30 мин со снятием отсчетов через каждые 15 мин.

Испытание свай проводили в следующей последовательности:

1. Поэтапное загрузку вдавливающей нагрузкой, доведенной до уровня контрольного проектного значения соответствующего - 1632 кН, или нагрузками, доведенными до значения, вызывающего осадку сваи более 40 мм на уровне приложения нагрузки по ГОСТ [3]. Следует обратить внимание, что в наших исследованиях проводили одновременное синхронное испытание двух свай (см.рис.4).

2. Разгрузка свай для определения остаточной (необратимой) осадки.

Известно, что среди всех методов определения несущей способности свай наиболее достоверные результаты дают статические испытания свай вдавливающей нагрузкой, выполненные согласно ГОСТ [3]. Данный способ нашел свое применение на различных этапах строительства – как на стадии выполнения изысканий, до начала рабочего

проектирования, так и в процессе устройства свай на строительной площадке.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

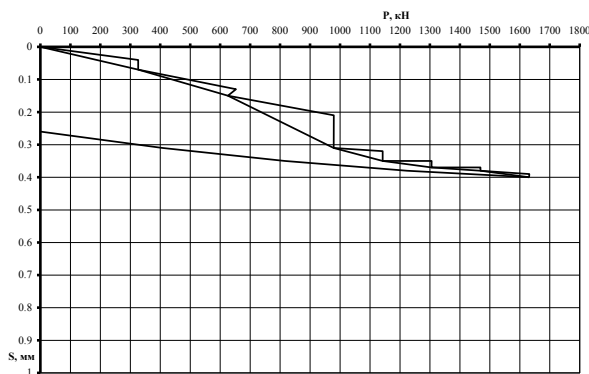
Максимально достигнутая кратковременная вдавливающая нагрузка при испытании сваи №1 составила  $P_0=1632$  кН. При этом измеренная кратковременная осадка сваи по приборам составила  $S_0=0,39$  мм. Выдержка до условной стабилизации осадки при данной нагрузке составила 1,0 час. При этом осадка увеличилась до  $S_0=0,40$  мм, а нагрузка снизилась до  $P_0=1631$  кН.

После полного снятия нагрузки остаточная осадка сваи составила  $S_0=0,26$  мм.

**Таблица 2.** Результаты испытания буронабивной сваи №1.

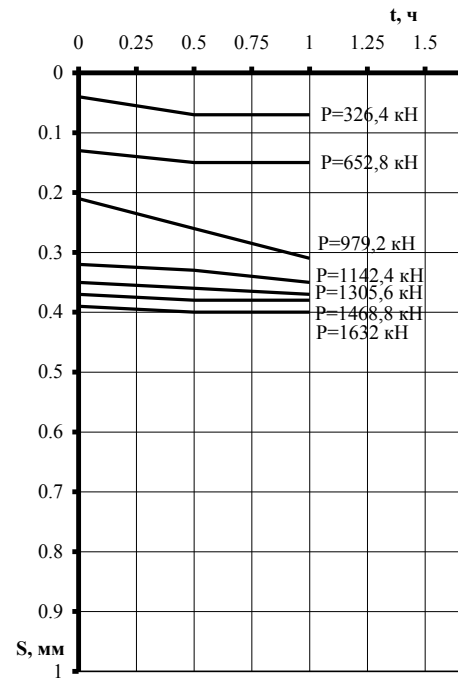
**Table 2.** Test results of the drilling pile No.1.

Ступень нагрузки	Нагрузка, кН	Приращение осадки сваи $\Delta S$ , мм	Суммарная осадка сваи $\Sigma S$ , мм
Нагружение			
1	326,4	0,07	0,07
2	652,8	0,08	0,15
3	979,2	0,16	0,31
4	1142,4	0,04	0,35
5	1305,6	0,02	0,37
6	1468,8	0,01	0,38
7	1632,0	0,02	0,40
Разгрузка			
1	1224,0	0,02	0,38
2	816,0	0,03	0,35
3	408,0	0,04	0,31
4	0	0,05	0,26



**Рис. 5.** График результатов испытаний буронабивной сваи №1 на вдавливающую нагрузку: зависимость осадки сваи  $S$  от нагрузки  $P$

**Fig. 5.** Graph of the test results of bored pile No. 1 for the indentation load: the dependence of the pile sediment  $S$  on the load  $P$



**Рис. 6.** График результатов испытаний буронабивной сваи №1 на вдавливающую нагрузку: изменение осадки сваи  $S$  во времени  $t$  (по ступеням нагружения)

**Fig. 6.** Graph of the test results of the driven pile No. 1 for the indentation load:

change in the sediment of the pile  $S$  in time  $t$  (by loading stages)

Максимально достигнутая кратковременная вдавливающая нагрузка при испытании сваи №2 составила  $P_0=1632$  кН. При этом измеренная кратковременная осадка сваи по приборам составила  $S_0=0,46$  мм. Выдержка до условной стабилизации осадки при данной нагрузке составила 1,0 час. При этом осадка увеличилась до  $S_0=0,48$  мм, а нагрузка снизилась до  $P_0=1631$  кН.

После полного снятия нагрузки остаточная осадка сваи составила  $S_0=0,34$  мм.

**Таблица 3.** Результаты испытания буронабивной сваи №2.

**Table 3.** Test results of driving pile No. 2

Ступень нагрузки	Нагрузка, кН	Приращение осадки сваи $\Delta S$ , мм	Суммарная осадка сваи $\Sigma S$ , мм
Нагружение			
1	326,4	0,00	0,00
2	652,8	0,05	0,05
3	979,2	0,14	0,19
4	1142,4	0,12	0,31
5	1305,6	0,08	0,39
6	1468,8	0,05	0,44
7	1632,0	0,04	0,48
Разгрузка			
1	1224,0	0,02	0,46
2	816,0	0,03	0,43
3	408,0	0,04	0,39
4	0	0,05	0,34

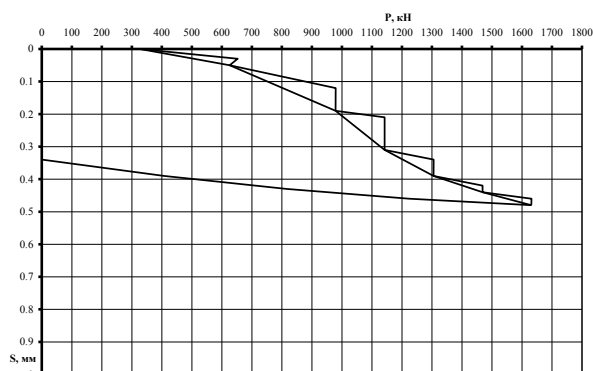


Рис. 7. График результатов испытаний буронабивной сваи №2 на вдавливающую нагрузку: зависимость осадки сваи  $S$  от нагрузки  $P$

Fig. 7. Graph of the test results of the driven pile No. 2 for the indentation load: the dependence of the pile sediment  $S$  on the load  $P$

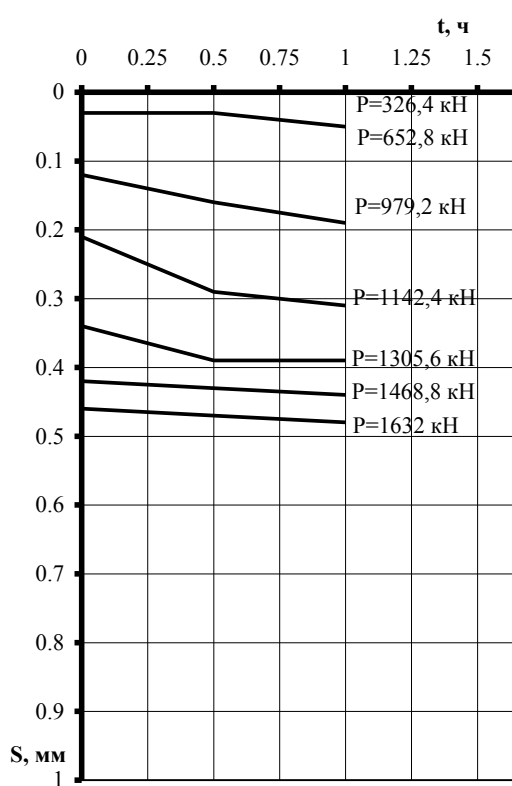


Рис. 8. График результатов испытаний буронабивной сваи №2 на вдавливающую нагрузку: изменение осадки сваи  $S$  во времени  $t$  (по ступеням нагружения)

Fig. 8. Graph of the test results of the driven pile No. 2 for the indentation load: change in the sediment of the pile  $S$  in time  $t$  (by loading stages)

## ВЫВОДЫ

1. На площадке строительства объекта: «Развитие аэропортового комплекса «Симферополь», Республика Крым. Аварийно-спасательная станция (АСС). Наблюдательная вышка» выполнены контрольные испытания грунтов буронабивными

сваями статической вдавливающей нагрузкой. Испытания проведены в соответствии с ГОСТ [3] по программе полевых испытаний. Испытаны две буронабивные сваи.

2. При вертикальной вдавливающей нагрузке  $P_0=1632$  кН осадка сваи №1 составила  $S_0=0,40$  мм, сваи №2 -  $S_0=0,48$  мм. Следовательно, критерием испытаний является контрольная нагрузка, а не рекомендуемая осадка свай не менее  $S \geq 40$  мм согласно п. 8.2.4 ГОСТ [3].

3. Контрольные испытания грунтов сваями подтвердили несущую способность грунтового основания для восприятия расчетной нагрузки, передаваемой на сваю, равной 108,8 т.

4. Проведение полевых экспериментальных исследований позволило подтвердить величину расчетно-допускаемой нагрузки на сваи, принятую на стадии проектирования, что свидетельствует об эффективности выбранных проектных решений.

5. Несмотря на достаточно высокую сходимость полученных результатов, выявлена необходимость совершенствования методики определения несущей способности свай, которая учитывала бы особенности изготовления свай.

6. Практическое применение результатов настоящей работы позволяет считать, что дальнейшие исследования в указанной области являются перспективными для изучения, учитывая широкое применение свайных фундаментов в качестве оснований зданий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гайдо А.Н., Левинтов Г.В. Анализ результатов определения несущей способности грунтов // Вестник гражданских инженеров. - 2013.- №2 (37). - С. 117-124.

2. Гольдфельд И.З. Долевая работа вертикально нагруженной сваи при статических испытаниях грунтов // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. - 2018.- С. 469-481.

3. ГОСТ 5686-2012 Грунты. Метод полевых испытаний сваями. - М.: Стандартинформ, 2014.

4. Глухов В.С., Вишнякова Ю.С. Рекомендации по определению несущей способности свай при погружении вдавливанием // Региональная архитектура и строительство. - 2019.- №3. - С. 107-112.

5. Глухов В.С., Хрянина О.В., Глухова М.В. Исследование влияния уширения свай в пробитых скважинах на осадку // Известия Юго-Западного государственного университета. - 2011.- №5-2. - С. 351-354.

6. Кобзев А.П., Губатенко М.С. Устройство для уплотнения стенок вертикальных скважин под буронабивные сваи // Вестник Саратовского государственного технического университета. - 2013.- №2(71). - С. 231-236.

7. Ладыженский И.Г., Сергиенко А.В., Зеленев Ю.В., Гречко Д.А. Сваи повышенной несущей способности сборные железобетонные и

бурунабивные // Вестник НИЦ строительство. - 2018.- №2(17). - С. 82-92.

8. Ланис А.Л., Воробьев В.С., Разуваев Д.А., Ломов П.О. Определение несущей способности набивной сваи по грунту, выполненной в раскатной скважине // Известия Высших учебных заведений. Строительство. - 2017.- №9. - С. 31-40.

9. Мангушев Р.А., Готман А.Л., Знаменский В.В. и др. Сваи и свайные фундаменты: конструкции, проектирование, технологии / М.: АСВ, 2015.–314 с.

10. Мырадов Е., Гараджаев А., Гочакова А., Атаев Б. Статический (стационарный) метод расчета сопротивления сваи // Символ науки: Международный научный журнал. - 2023.- №10-2. - С. 204-205.

11. СП 24.13330.2011 «СНиП 2.02.03 - 85 «Свайные фундаменты» [Текст]. – М.: Минрегион России, 2010. – 86 с.

12. Руководство по проектированию свайных фундаментов / НИИОСП им. Н. М. Герсеванова Госстроя СССР. — М.: Стройиздат, 1980.

13. Тер-Мартirosян З.Г., Чинь Туан Вьет. Взаимодействие одиночной длинной сваи с двухслойным основанием с учетом сжимаемости ствола сваи // Вестник МГСУ. - 2012.- №4. - С. 28-34.

14. Чернюк В.П., Семенюк С.М., Юськович В.И., Шляхова Е.И. Бурунабивные сваи с уширенным основанием - достойная альтернатива забивным сваям // Вестник Брестского государственного технического университета. - 2021.- №2(125). - С. 35-37.

## REFERENCES

1. Gaido A.N., Levintov G.V. Analysis of the results of determining the bearing capacity of soils // Bulletin of civil engineers. - 2013.- №2 (37). - Pp. 117-124.

2. Goldfeld I.Z. Equity work of a vertically loaded pile during static soil tests // Prospects for the development of engineering surveys in construction in the Russian Federation. - 2018. - pp. 469-481.

3. GOST 5686-2012 Soils. The method of field testing with piles. - М.: Standartinform, 2014.

4. Glukhov V.S., Vishnyakova Yu.S. Recommendations for determining the bearing capacity of piles during indentation // Regional architecture and construction. - 2019.- No. 3. - pp. 107-112.

5. Glukhov V.S., Khryanina O.V., Glukhova M.V. Investigation of the effect of pile broadening in drilled wells on sediment // Proceedings of the Southwestern State University. - 2011.- No.5-2. - pp. 351a-354.

6. Kobzev A.P., Gubatenko M.S. Device for sealing the walls of vertical wells for drilling piles // Bulletin of the Saratov State Technical University. - 2013.- №2(71). - Pp. 231-236.

7. Ladyzhenskiy I.G., Sergienko A.V., Zelenov Yu.V., Grechko D.A. Piles of increased load-bearing capacity, precast reinforced concrete and bored. Vestnik SIC stroitelstvo. - 2018.- №2(17). - Pp. 82-92.

8. Lanis A.L., Vorobyov V.S., Razuvaev D.A., Lomov P.O. Determination of the bearing capacity of a packed pile on the ground, made in a rolling well // Izvestia of Higher Educational Institutions. Construction. - 2017.- No.9. - pp. 31-40.

9. Mangushev R.A., Gotman A.L., Znamenskiy V.V., etc. Piles and pile foundations: structures, design, technologies / М.: DIA, 2015. – 314 p.

10. Myradov E., Garadzhaev A., Gochakova A., Ataev B. Static (stationary) method for calculating pile resistance // Symbol of Science: International Scientific Journal. - 2023.- No.10-2. - pp. 204-205.

11. SP 24.13330.2011 "SNiP 2.02.03 - 85 "Pile foundations" [Text]. – Moscow: Ministry of Regional Development of Russia, 2010. – 86 p.

12. Guidelines for the design of pile foundations / NIIOSP named after N. M. Gersevanov State University of the USSR. — М.: Stroyizdat, 1980.

13. Ter-Martirosyan Z.G., Chin Tuan Viet. Interaction of a single long pile with a two-layer base, taking into account the compressibility of the pile trunk // Bulletin of the MGSU. - 2012.- No. 4. - pp. 28-34.

14. Chernyuk V.P., Semenyuk S.M., Yuskovich V.I., Shlyakhova E.I. Bored piles with a widened base are a worthy alternative to driven piles // Bulletin of the Brest State Technical University. - 2021.- №2(125). - Pp. 35-37.

FIELD TESTS OF BORED PILES OF FOUNDATIONS OF THE FACILITY OF THE AIRPORT  
COMPLEX "SINFERPOPOL"

Rodin<sup>1</sup> S.V., Bogutsky<sup>2</sup> Y.G., Bogutsky<sup>3</sup> G.A., Kalafatov D.A.<sup>4</sup>

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Institute "Academy of Construction and Architecture"  
181, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493  
E-mail: sv\_rodin@mail.ru<sup>1</sup>, bogutskiyyg@mail.ru<sup>2</sup>, bogutskiyga@mail.ru<sup>3</sup>, jafer90@mail.ru<sup>4</sup>

**Abstract.** The purpose of this study is to assess the bearing capacity of drilling piles (BNS) of a continuous cross section with a diameter of 600 mm with the walls of wells fixed with inventory recoverable casing pipes at the construction site of the I.K. Aivazovsky International Airport in Simferopol. Static field tests of two BNS were carried out in accordance with the working draft and the requirements of the current regulatory documentation, and an analysis of the results was performed. Based on the conducted experimental studies, it was concluded that it is advisable to take into account the normative values of precipitation when determining the bearing capacity of piles on the ground. The results of field tests were compared with the calculated values determined in accordance with the recommendations of SP 24.13330.2011. It is noted that the load corresponding to the reference value should be taken as the criterion of the actual bearing capacity.

**The subject of the study:** BNS of a solid section with a diameter of 600 mm with the walls of wells fixed with inventory recoverable casing pipes at the construction site of the I.K. Aivazovsky International Airport in Simferopol.

**Materials and methods:** engineering and geological conditions of the construction site, design documentation for the foundation structures of the facility, the method of field testing of soils with piles has been implemented.

**Results:** The measurement parameters of controlled pressure loads and displacements - sediment of the BNS are presented in tabular form and graphs using Excel software.

**Conclusions:** The conducted field tests confirm the value of the calculated permissible load on the BNS, adopted at the design stage, which justifies the reliability and effectiveness of the constructive solution embedded in the project.

**Key words:** drilling pile (BNS), indentation, bearing capacity, static testing, unloading, pile sedimentation, geotechnical construction.

УДК 628.38

## ПОДХОД К ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ КРЕПЛЕНИЯ БЫСТРОТОКА ВОДОСБРОСНОГО СООРУЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ПОКАЗАТЕЛЯ НАДЕЖНОСТИ

Пашенцев А.И.<sup>1</sup>

КФУ им. В.И. Вернадского, Институт «Академия строительства и архитектуры»  
e-mail: Aleksandr\_Pashentsev@mail.ru

**Аннотация.** Представлен и опробован синтезированный методический подход к оценке устойчивости железобетонных плит крепления быстротока водосбросного сооружения на основе показателей надежности на всплытие и опрокидывание на примере реально работающего гидротехнического сооружения в Белогорском районе Республики Крым, который показал объективность полученных результатов, что подкреплено расчетом критерия согласия Кохрена. Доказано соответствующим расчетом наличие сильной прямо пропорциональной связи между скоростями потока воды в конце быстротока и закрепленного русла реки.

**Предмет исследования:** процесс исследования устойчивости железобетонных конструкций крепления быстротока водосбросного сооружения, находящегося под воздействием ниспадающего потока воды, обладающего значительной кинетической энергией способной привести к разрушению отдельных элементов сооружения.

**Материалы и методы:** исследование выполнено на основе применения методов: анализа, позволившего провести совершенствование методического подхода к оценке устойчивости конструкций крепления водосбросного сооружения; вероятностного, позволившего провести апробацию предложенного подхода с учетом доверительного уровня надежности сооружения; корреляционного, позволившего установить степень тесноты между скоростями потока воды в конце быстротока и закрепленного русла реки; сравнительного, позволившего сопоставить параметры расчета устойчивости конструктивных элементов быстротока с учетом и без учета надежности.

**Результаты:** проведен расчет устойчивости железобетонных плит быстротока водосбросного сооружения по синтезированному методическому подходу на примере реально работающего водосбросного сооружения гидроузла в Белогорском районе Республики Крым, который показал объективность полученных результатов.

**Выводы:** разработан и опробован методический подход к оценке устойчивости железобетонных плит крепления быстротока водосбросного сооружения в основе, которого находится сопоставление опрокидывающего и взвешивающего моментов с учетом показателя доверительной вероятности безотказной работы сооружения.

**Ключевые слова:** быстроток, надежность, неразрывающая скорость, удерживающий момент, опрокидывающий момент.

### ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения безопасности работы гидроузла применяется водосбросное сооружение, предназначенное для сброса излишнего объема воды с целью предотвратить подтопление и затопление расположенных в нижнем бьефе территорий. Ниспадающий поток воды по быстротоку обладает значительной величиной кинетической энергии и способен разрушить конструктивные элементы водосброса, что приведет к нарушению работы всего гидроузла и катастрофическим последствиям. Исключить подобную ситуацию из практики эксплуатации гидротехнического сооружения можно в случае проектирования сооружений с учетом показателя надежности, предусматривающего наличие запаса прочности конструкций, что в совокупности позволит им выдержать расчетные нагрузки от воздействия потока воды и обеспечить безопасность территорий нижнего бьефа. Нужно отметить, что конструкции водосбросного сооружения выполняются в большинстве случаев из сборного монолита (железобетонных плит), что позволяет получить жесткую конструкцию сооружения. Однако между плитами остаются швы, которые заделываются согласно требований нормативных документов, но они не исключают фильтрацию воды и местный размыв, что существенно снижает

их устойчивость на всплытие и опрокидывание. В этой связи рассмотрение вопросов оценки устойчивости плит крепления водосбросного сооружения с учетом показателя надежности является актуальным, что позволяет повысить уровень безотказности сооружения.

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью настоящего исследования является апробация методического подхода к оценке устойчивости железобетонных плит крепления быстротока водосбросного сооружения с учетом показателя надежности. Для достижения данной цели решены задачи: проведен анализ точек зрения российских ученых по теме исследования, представлен методический подход и проведена апробация на примере реально работающего гидротехнического объекта Республики Крым.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросам исследования безопасности эксплуатации водосбросных сооружений гидроузла посвящены работы российских ученых, которые отличаются логикой и объективностью рассуждений. Так ученый А.Р. Гаврилов считает необходимым рассматривать надежность

водосбросных сооружений в общей совокупности, акцентируя внимание на обеспечении максимально возможного показателя в целом по гидроузлу [1]. Однако гидроузел включает в себя определенный состав сооружений: плотина, водохранилище, донный водовыпуск, водопропускное сооружение. Для обеспечения надежности всего гидроузла необходимо обеспечить высокую надежность каждого из указанных выше сооружений, что позволит сохранить работоспособность в целом сооружения в периоде времени согласно требований нормативных документов. При этом ученый исходит из точки зрения, что расчет надежности необходимо проводить отдельно по каждому сооружению, а итоговую оценку можно получить, применяя классический метод. Российский ученый Р.О. Данилин рассматривает надежность гидроузла с точки зрения необходимости поэлементной оценки технического состояния каждого сооружения, входящего в его состав. При этом акцентируется внимание на возможности разработки и использования системы сбора, анализа и хранения информации об отказах и нештатных ситуациях на каждом из них в периоде времени [2]. Российский ученый П.И. Мыльников считает возможным оценивать инженерную защиту закрепленного русла с точки зрения обеспечения надежности конструкции успокоителя и отводящего канала. В частности, он отмечает, что «купирование энергии ниспадающей воды с быстротока возможно только при рациональном сочетании геометрических параметров и сопряжении успокоителя и отводящего канала» [3]. Российский ученый А.И. Пашенцев считает, что обеспечение надежности гидроузла в полной мере зависит от надежности работы водосбросного сооружения, чего можно добиться проведением наблюдения в периоде времени за техническим состоянием конструкций, созданием базы данных об отказах и проведением расчетного процесса по определению показателя надежности, который позволяет выделить низконадежные элементы и конструкции. При этом особое внимание уделяется согласованию параметров скорости ниспадающего потока воды через водосбросное сооружение со скоростью воды в нижнем бьефе, исходя из неразмывающих условий, включая закрепленные русла рек [5]. Российский ученый К.А. Савельев считает наиболее приемлемым в достижении позитивных результатов работы водосбросного сооружения подход конструктивизма. Он позволяет изучить разные технические решения и выявить возникновение негативных эффектов при их применении [6].

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Водосбросное сооружение гидроузла при сбросе воды из водохранилища, для обеспечения безопасности территорий нижнего бьефа, испытывает значительные нагрузки от ниспадающего потока воды, движущегося с большой скоростью. В зависимости от уклона

расположения лотка быстротока данного сооружения скорость потока воды может оказывать размывающее воздействие на конструктивные элементы водосбросного сооружения, что может привести к частичному и даже полному его разрушению. В этом случае это сооружение уже не выполняет своей функциональной принадлежности и не может обезопасить объекты и сооружения, расположенные в нижнем бьефе от катастрофических последствий. Для купирования развития подобной ситуации необходимо проводить проектирование данных сооружений с учетом показателя надежности, что можно осуществить на основе синтезированного методического подхода, основанного на вероятностной оценке устойчивости железобетонных плит крепления водосбросного сооружения. В общем виде данный подход можно представить выражениями:

$$P \geq P(P_v \leq G); \quad (1)$$

где  $P_v$  – вертикальная взвешивающая сила;  $G$  – масса железобетонной плиты.

$$P \geq P(M_0 \leq M_y); \quad (2)$$

где  $M_0$ ,  $M_y$  – опрокидывающий и удерживающий моменты железобетонные плиты.

Массу железобетонной плиты можно определить учетом показателя надежности:

$$G = \mu \cdot P_v; \quad (3)$$

где  $\mu_1$  – показатель надежности при расчете устойчивости железобетонных плит на всплытие.

Опрокидывающий момент железобетонных плит с учетом показателя надежности:

$$M_y = \mu_2 \cdot M_0; \quad (4)$$

где  $\mu_2$  – показатель надежности при расчете устойчивости железобетонных плит на опрокидывание.

Показатель надежности при расчете устойчивости плит на опрокидывание [5, с. 91]:

$$\eta_{onp} = 1 + \frac{\sigma_m}{M_{onp}} \sqrt{2Ln\left(\frac{n_{onp}T}{LnP}\right)}; \quad (5)$$

$\delta_m$  – среднее квадратическое отклонение взвешивающей нагрузки опрокидывающего момента;  $n_{onp}$  – число нулей опрокидывающего момента;  $P$  – уровень доверительной вероятности безотказной работы;  $T$  – продолжительность воздействия потока воды на водосбросное сооружение.

Показатель надежности при расчете устойчивости плит на всплытие [3, с. 98]:

$$\eta_v = 1 + \frac{\sigma_v}{P_p} \sqrt{2Ln\left(\frac{n_{onp}T}{LnP}\right)}; \quad (6)$$

где  $\delta_b$  – среднее квадратическое отклонение взвешивающей нагрузки опрокидывающего момента.

Особенностью выражения (6) является включение уровня доверительной вероятности безотказной работы, (УДВБР), что позволяет провести расчеты при разных значениях и установить соответствие между показателем надежности и величиной взвешивающей нагрузки опрокидывающего момента. Учитывая, что показатель УДВБР в расчетах может принимать вариативные значения 0,80; 0,85; 0,90; 0,95, то можно получить вариацию значений взвешивающей нагрузки опрокидывающего момента и принять тот, который отвечает принципу паритетности.

Неразмывающую скорость потока воды в лотке быстротока водосбросного сооружения можно определить по выражению (7), которое является синтезированным на основе рекомендаций ученых Р.О. Данилина [2], А.И. Пашенцева [5].

$$V_{np} = 1,10 - 1,35 \cdot \sqrt{\frac{\mu \cdot R}{\delta \cdot \eta_n}}; \quad (7)$$

где R – усталостная прочность бетона на разрыв водосбросного сооружения; m – коэффициент условий работы водосбросного сооружения;  $\delta$  – высота выступов шероховатости железобетонных плит.

Нужно отметить, что в выражении (7) присутствует коэффициент, учитывающий условия работы сооружения. По мере усложнения условий данный показатель увеличивается, что указывает на увеличение негативного воздействия факторов окружающей среды. Проведение имитационного моделирования работы водосбросного сооружения в разных условиях воздействия факторов окружающей среды предложена дифференциация данного показателя в пределах 1,10-1,35, которые получены на основе сипользования математического выражения Д.Старджеса [5].

Коэффициент условий работы водосбросного сооружения предлагается определять:

$$\mu = \sqrt[3]{\mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3}; \quad (8)$$

где  $\mu_1$  – коэффициент условий работы, учитывающий снижение прочности бетонных конструкций;  $\mu_2$  –

коэффициент условий работы, учитывающий фильтрацию воды через швы бетонных конструкций;  $\mu_3$  – коэффициент условий работы, учитывающий деформацию бетонных конструкций под воздействием факторов внешней среды.

Размывающая скорость потока воды в закреплённом русле из каменной наброски [6, с. 89].

$$V_{np} = (1 + f + \operatorname{tg} \alpha \sqrt{\frac{\rho_z - \rho}{1,75 \cdot \rho}}) \sqrt{2 \cdot n \cdot d} \quad (9)$$

где f – коэффициент внутреннего трения грунта значения которого, принимаются 1,80 при условии, что  $d > 50$ , в случае выполнения условия  $3 < d < 50$

значения данного коэффициента изменяются по линейной зависимости в интервале 0,80-1,7;  $\alpha$  – угол наклона размываемой поверхности к горизонту; знак минус означает, что тангенциальная составляющая силы массы частицы совпадает с направлением потока воды;  $\rho$  – плотность воды;  $\rho_r$  – плотность грунта.

Нужно отметить, что зная закономерность изменения величины неразмывающих скоростей в нижнем бьефе с учетом физико-химических свойств грунта, можно определить длину и конструкцию в нижнем бьефе, выполненную из каменной наброски, что позволит существенно снизить затраты на строительство водосбросного сооружения. При этом полученные значения неразмывающих скоростей позволят обосновать устойчивость крепления нижнего бьефа, но с учетом придонных максимальных скоростей. Известно, что в качестве критерия, по которому можно оценить размывающую способность потока воды, выступает придонная скорость 0,30% -ой повторяемости [4, с. 56].

$$V_d = V_d + 3 \cdot \sigma_v; \quad (10)$$

где  $V_d$  – придонная скорость;  $\sigma_v$  – среднее квадратическое отклонение скорости.

Применение выражения (10) обосновано в работах Ц.Е. Мирцхулава [4], которое позволило установить, что на участке сопряжения бьефов камень диаметром 5-30 см может быть выброшен из массива придонной скоростью с вероятностью 0,05-0,30. Если использовать в исследовании экспериментальные законы, которые позволяют выявить изменения величины придонных скоростей в нижнем бьефе, то повысить устойчивость крепления каменной наброской можно ведением в расчет поправочных коэффициентов. Такой подход можно использовать при наличии неполной выборки данных наблюдений.

Апробация синтезированного методического подхода проведена на примере водосбросного сооружения объекта водного хозяйства в Белогорском районе Республики Крым, включающего в себя конструктивные элементы: лоток быстротока, водобойное сооружение, успокоитель, отводящий канал (все элементы выполнены из железобетонных плит) и нижний бьеф – русло реки, выполнено из каменной наброски. При этом исследование проведено для двух вариативных случаев:

1. Водобойное сооружение выполнено из сборных железобетонных плит, исключая элементы искусственной шероховатости.

2. Водобойное сооружение выполнено из сборных железобетонных плит, включая элементы искусственной шероховатости.

Цель апробации методического подхода состоит в проверке объективности синтезированного подхода к исследованию влияния конструктивной надежности быстротока на инженерную защиту закреплённых русел.

Для достижения поставленной цели решены задачи: систематизирована база исходных данных для расчетного процесса, проведены расчет вертикальной взвешивающей силы, расчет массы железобетонной плиты, опрокидывающего момента, удерживающего момента, показателя надежности при расчете устойчивости железобетонной плиты на всплытие и опрокидывание (учтены фактические условия работы конструкций водосбросного сооружения), определен перепад давления на участке сопряжения

бьефов, проведено сопоставление расчетной толщины плиты с фактической, определена неразмывающая скорость потока воды в лотке быстроготока, определена неразмывающая скорость в закрепленном русле, установлено наличие корреляционной связи между неразмывающими скоростью потока воды в лотке быстроготока и закрепленного русла реки (таблицы 2,3).

**Таблица 2.** Расчет степени тесноты между скоростями потока воды в конце быстроготока и закрепленного русла реки

**Table 2.** Calculation of the degree of tightness between the water flow rates at the end of the rapid flow and the fixed riverbed

$V_{л}, \text{ м/с}$	$V_{р}, \text{ м/с}$	$\tau$	$\mu$	$\chi$	$\varphi$	$\phi$	$P$
14,20	12,05	0,04	0,0484	104,04	145,20	122,91	0,044
14,25	12,10	0,023	0,0289	105,06	146,41	124,02	0,0255
14,30	12,17	0,01	0,010	106,09	148,11	125,35	0,01
14,35	12,21	0,0025	0,0036	107,12	149,08	126,37	0,003
14,40	12,28	0	0	108,16	150,80	127,71	0
14,45	12,31	0,0025	0,0001	109,20	151,53	128,64	0,002
14,50	12,38	0,01	0,0081	110,25	153,26	129,99	0,009
14,75	12,43	0,023	0,0256	111,30	154,50	131,14	0,024
14,99	12,50	0,04	0,0529	111,94	156,25	132,25	0,046
93,58	110,43	0,151	0,177	973,16	1225,14	1148,38	0,163
$U_{ср}=10,40$	$X_{ср}=12,27$						

Установлено наличие сильной прямо пропорциональной связи между скоростями потока воды в конце быстроготока водосбросного сооружения и закрепленного русла реки (коэффициент корреляции  $R=0,967$ ), т.е. по мере увеличения скорости ниспадающего потока воды в водосбросном сооружении происходит увеличение скорости воды в нижнем бьефе (русле реки). Поэтому для предотвращения процесса размыва русла, затопления территории нижнего бьефа

необходимо погасить кинетическую энергию воды до приемлемых показателей, а также скорость воды до показателей неразмывающей, чего можно добиться применением конструктивных элементов быстроготока, включая элементы искусственной шероховатости. Расчет показателей устойчивости конструктивных элементов водосбросного сооружения с учетом показателя надежности и наличия элементов искусственной шероховатости представлен в таблице 3.

**Таблица 3.** Расчет параметров устойчивости конструктивных элементов быстроготока

**Table 3.** Calculation of stability parameters of high-speed structural elements

$h, \text{ м}$	$G$	Знак условия	$P$	$M_0$	$M_y$	$W$	$G'$	$M'_y$
0,40	3100	условия	3081,43	3211,02	3189,99	12,05	3512,83	3500,18
Проверка условий устойчивости								
1-ое условие	3121,43	>	3100	-0,067 %	Взвешивающая сила без учета надежности: не устойчиво			
2-ое условие	3121,43	<	3512,83	+12,52 %	Взвешивающая сила с учетом надежности: устойчиво			
3-ое условие	3211,02	>	3189,99	-0,068%	Опрокидывающий момент без учета надежности : не устойчиво			
4-ое условие	3211,02	<	3500,18	+9,00%	Опрокидывающий момент с учетом надежности : устойчиво			
5-ое условие	12,05	<	12,50	+18,11%	Скорость воды не превышает рекомендованную для крепления русла реки каменной наброской			

При глубине водобойного колодца 1,38 м не выполняются два из пяти условий – не наблюдается всплытие железобетонных плит крепления лотка быстроготока и нарушение работы водосбросного сооружения, не происходит подтопление ниже расположенных территорий в нижнем бьефе и не происходит размыв русла реки закрепленного каменной наброской

Проверка устойчивости против всплытия железобетонных конструкций проводилась для двух принципиальных случаев - без учета и с учетом надежности конструктивных элементов быстротока по пяти условиями и трем показателям: скорость потока воды, взвешивающая сила, опрокидывающая сила. Первое условие показывает недостаточность взвешивающей силы на  $-0,067\%$  (без учета надежности), что свидетельствует о возможности всплытия плит крепления быстротока, а второе показывает наличие запаса  $+12,52\%$  (с учетом надежности), что показывает отсутствие условий способствующих всплытию плит крепления. Третье условие характеризует недостаточность величины удерживающей силы по сравнению с опрокидывающей на  $-0,068\%$  (без учета надежности). Однако расхождение достаточно малое, что свидетельствует о наличии технических условий препятствующих опрокидыванию плит крепления. Однако наличие даже небольшого негативного значения опрокидывающего момента явно указывает на шаткость ситуации. Четвертое условие проверки характеризует достаточность величины удерживающей силы по сравнению с опрокидывающей на величину  $9,00\%$  (с учетом надежности). Пятое условие характеризует

сопоставление скорости потока воды в русле реки с рекомендуемой для крепления каменной наброской, наблюдается запас на  $18,11\%$ .

На основе проведенных расчетов построены эпюры перепада давления на участке сопряжения бьефов с расчетными показателями. Установлено, что по сечению 1-1 (начало водобойного сооружения) наблюдается максимальное давление  $4291,87$  кПа; по сечению 2-2 (эпюра давления потока воды на дно) давление на плиты крепления составляет  $3121,43$  кПа происходит снижение нагрузки на  $37,48\%$  ввиду процесса растекания воды по всей площади быстротока; по сечению 3-3 (эпюра давления воды в конце рисбермы) давление составляет  $2819,24$  кПа, происходит снижение нагрузки на плиты крепления на  $10,71\%$ . Это наглядно подтверждает, что при глубине водобойного колодца  $1,38$  м не происходит всплытие железобетонных плит быстротока и не происходит нарушение работы водосбросного сооружения.

В таблице 4 представлены результаты расчета относительной ошибки для случая глубины водобойного колодца  $1,38$  м на основе критерия согласия.

**Таблица 4.** Коэффициент Кохрена, показатель относительной ошибки для случая глубины водобойного колодца  $1,38$  м

**Table 4.** Kohren coefficient, an indicator of relative error for the case of a downhole depth of  $1.38$  m

$h_s$	$V_n, \text{ м/с}$	$V_p, \text{ м/с}$	$r$	$K_r$	$\Delta, \%$	Вывод
$1,38$	$14,20 - 14,99$	$12,05 - 12,50$	$0,965$	$0,67 < 0,81$	$1,43$	Объективный

Скорость потока воды в лотке быстротока изменяется в пределах  $14,20$  м/с (начальная точка – верх быстротока) и  $14,99$  м/с (конечная точка – низ быстротока). Анализ данных скорости потока воды свидетельствует о постепенном ее увеличении по мере приближения к низу лотка быстротока. В этой связи использование для гашения кинетической энергии водобойного колодца глубиной  $1,38$  м приводит к снижению скорости потока воды до  $12,05 - 12,50$  м/с, что не превышает допустимое значение неразмывающей скорости для русла реки, закрепленного каменной наброской. Относительная ошибка расчетов составляет  $1,43\%$ , что не превышает допустимого значения, тем самым указывая на объективность полученных расчетных данных.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведен расчет устойчивости железобетонных плит быстротока водосбросного сооружения по синтезированному методическому подходу на примере реально работающего водосбросного сооружения гидроузла в Белогорском районе Республики Крым, который показал объективность полученных результатов, что подкреплено расчетом критерия согласия.

## ВЫВОДЫ

Разработан и опробован методический подход к оценке устойчивости железобетонных плит крепления быстротока водосбросного сооружения в основе, которого находится сопоставление опрокидывающего и взвешивающего моментов с учетом показателя доверительной вероятности безотказной работы сооружения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилов А.Р. Проектирование гидротехнических сооружений / А.Р. Гаврилов. – Казань: Витязь, 2019. – 212 с.
2. Данилин Р.О. Проектирование речных гидроузлов на нескальных грунтах / Р.О. Данилин. – М: Наука, 2020. – 278 с.
3. Мильников П.И. Проектирование гидротехнических сооружений / П.И. Мильников. – Курск: МСР, 2017. – 329 с.
4. Мирцхулава Ц.Е. Надежность гидромелиоративных сооружений / П.И. Мильников. – М: Колос, 1974. – 278 с.
5. Пашенцев А.И. Систематизация факторов, влияющих на инженерную защиту закрепленных русел / Пашенцев А.И., Гармидер А.А., Кумович Т.Е. //

Экономика строительства и природопользования. – №1 (86) 2023.– № 65-73 с.

6. Савельев К.А. Нижний бьеф плотин: учеб. пособие / К.А. Савельев [и др.]. – Казань: КГФУ, 2020. – 211 с.

## REFERENCES

1. Gavrilov A.R. Design of hydraulic structures/A.R. Gavrilov. - Kazan: Vityaz, 2019. - 212 p.

2. Danilin R.O. Design of river waterworks on non-rocky soils/R.O. Danilin. - M: Nauka, 2020. - 278 p.

3. P.I. Mylnikov. Design of hydraulic structures/P.I. Mylnikov. - Kursk: MSR, 2017. - 329 p.

4. Mirskhulava С.Е. Reliability of irrigation and drainage facilities/P.I. Mylnikov. - M: Kolos, 1974. - 278 p.

5. Pashentsev A.I. Systematization of factors affecting the engineering protection of fixed channels/Pashentsev A.I., Garmider A.A., Kumovich T.E.//Economics of construction and nature management. No. 1 (86) 2023. No. 65-73 p.

6. Savelyev K.A. Lower dam heap: textbook/K.A. Savelyev [et al.]. - Kazan: KGFU, 2020. - 211 s.

## AN APPROACH TO ASSESSING THE STABILITY OF REINFORCED CONCRETE SLABS FOR FAST-FLOW SPILLWAY STRUCTURES, TAKING INTO ACCOUNT RELIABILITY INDICATOR

Pashentsev A.I.

Vernadsky Crimean Federal University. Institute "Academy of Construction and Architecture"  
181, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493  
e-mai: Aleksandr\_Pashentsev@mail.ru

**Annotation.** A synthesized methodological approach to assessing the stability of reinforced concrete slabs anchoring a rapid-flow spillway structure based on the reliability indicators for surfacing and tipping is presented and tested using the example of a real-life hydraulic engineering structure in the Belogorsky district of the Republic of Crimea, which showed the objectivity of the results obtained, which is supported by the calculation of the Kohren consent criterion. A corresponding calculation has proved the existence of a strong directly proportional relationship between the flow rates of water at the end of the rapid flow and the fixed riverbed.

**Subject of the study:** the process of studying the stability of reinforced concrete structures for securing a rapid-flow spillway structure under the influence of a falling stream of water with significant kinetic energy capable of destroying individual elements of the structure.

**Materials and methods:** the study was carried out based on the application of the following methods: analysis, which allowed for the improvement of a methodological approach to assessing the stability of spillway attachment structures; probabilistic, which allowed for the testing of the proposed approach, taking into account the confidence level of the reliability of the structure; correlation, which allowed to establish the degree of tightness between the flow rates of water at the end of the rapid flow and the fixed riverbed; comparative analysis, which made it possible to compare the parameters for calculating the stability of structural elements of high-speed flow, taking into account and without taking into account reliability.

**Results:** the stability of reinforced concrete slabs of a rapid-flow spillway structure was calculated using a synthesized methodological approach using the example of a really working spillway structure of a hydroelectric power plant in the Belogorsky district of the Republic of Crimea, which showed the objectivity of the results obtained.

**Conclusions:** a methodological approach has been developed and tested to assess the stability of reinforced concrete slabs for fast-flow fastening of a spillway structure, based on a comparison of tipping and weighing moments, taking into account the indicator of the confidence probability of trouble-free operation of the structure.

**Key words:** high-speed, reliability, non-breaking speed, holding moment, tipping moment

УДК 004.942

## АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КЛАДКИ ИЗ ГАЗОБЕТОННЫХ БЛОКОВ, УСИЛЕННОЙ КОМПОЗИТНЫМИ ПОЛИМЕРНЫМИ СЕТКАМИ

Васильев М.В.<sup>1</sup>, Белавский В.А.<sup>2</sup>, Ткаченко О.Я.<sup>3</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>wmv\_sapr@mail.ru, <sup>2</sup>belavsky@mail.ru, <sup>3</sup>krabeklac@gmail.com

**Аннотация.** В статье представлены подходы к моделированию каменной кладки из ячеистых бетонов с армированием композитными сетками. Локальные численные модели были верифицированы при помощи данных физических экспериментов. При помощи пространственных моделей выполнена оценка влияния на несущую способность усиления кладки при помощи композитных полимерных сеток.

**Предмет исследования:** напряженно-деформированное состояние численных моделей зданий из кладки из ячеистых бетонов.

**Материалы и методы:** исследования выполнены на базе численных моделей в программном комплексе «ЛИРА-САПР» методом конечных элементов в физически нелинейной постановке.

**Результаты:** при помощи локальных моделей были определены нелинейные характеристики, позволяющие достоверно моделировать кладку из ячеистых бетонов. Далее при помощи пространственных моделей выполнена оценка влияния наличия, вида и степени армирования кладки из ячеистых бетонов композитными полимерными сетками.

**Выводы:** кладка из ячеистых бетонов является материалом, позволяющим получить энергоэффективное здание. Армирование кладки при помощи композитных полимерных сеток позволяет существенно повысить сейсмостойкость несущей системы здания.

**Ключевые слова:** ячеистый бетон, каменная кладка, сейсмическое воздействие, прочность кладки из легких бетонов, моделирование кладки.

## ВВЕДЕНИЕ

Данное исследование расширяет границы применения одного из самых перспективных и востребованных материалов – ячеистых бетонов (в том числе автоклавных газобетонов). В работе рассматриваются возможные пути снижения энергоемкости строительной отрасли за счет снижения расхода энергии и материалов на протяжении всего жизненного цикла здания. Так же рассмотрены и уточнены методики моделирования и прочностных расчетов каменных зданий при сейсмическом воздействии. Для Крымского региона, как одного из сейсмически опасных регионов Российской Федерации, исследование имеет особое значение, т.к. применение её результатов позволяет повысить плотность застройки, а так же более эффективно моделировать и рассчитывать каменные здания на сейсмические воздействия.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Микроклимат помещений, в которых гражданское население проводит от 70 до 90% времени, обладает рядом нормируемых параметров, обуславливающих комфортность пребывания внутри помещения, таких как: влажность, освещенность, температура, скорость движения воздуха [1] и пр. Первостепенной целью, данного стандарта является обеспечение оптимальных показателей микроклимата в помещениях: «сочетания значений показателей микроклимата,

которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают нормальное тепловое состояние организма при минимальном напряжении механизмов терморегуляции...». Поддержание параметров микроклимата в пределах оптимальных сопряжено со значительными затратами, как на стадии проектирования, так и на стадиях возведения и эксплуатации объектов строительства.

Существуют два основных метода поддержания заданного микроклимата внутри здания. На первоначальном этапе становления строительной отрасли в России (тогда в СССР) шли по пути увеличенного расхода энергоносителей, с целью выделения необходимого количества тепловой и электрической энергии; тепловая защита зданий не играла первостепенной роли. Приоритет был смещен в сторону уменьшения расхода строительных материалов, снижения трудоёмкости [2]. Это позволяло избежать удорожания строительства и сократить расход ресурсов на возведение, за счет отказа от применения большого количества теплоизолирующих и конструкционных материалов, однако существенно увеличивало расход невозобновляемых природных ресурсов. Такая тенденция снижения материалоемкости строительства наблюдалась в России в двадцатом столетии: «Так за период с 1911 по 1980 г. средняя материалоемкость наружных стен каменных зданий в Санкт-Петербурге снизилась от полутора до восьми раз: с 1206 кг/м<sup>2</sup> (2 ½ полнотелых кирпича) до 150–400 кг/м<sup>2</sup> (серии 600.11 и 504) для панельных

зданий и 728 кг/м<sup>2</sup> (2 щелевых кирпича) для кирпичных» [2].

Со временем, в России, как и в большинстве стран, все большее значение стало приобретать сокращение расходов энергоносителей [2]. Для второго направления поддержания заданных параметров микроклимата, характерны вложения ресурсов и повышение трудоёмкости объекта на стадии строительства, с целью сокращения расходов на эксплуатацию. Особое внимание стало уделяться снижению расходов на отопление.

Эта тенденция сформировалась в 70 гг. XX в. Предпосылка для её формирования стали энергетический кризис 1973 года, развитие индустрии теплоизоляционных материалов, рост тарифов и ужесточение норм. Её формирование можно отчетливо проследить в нормативных документах и законодательных актах. Вступление в силу СНиП II-A.7-71 [3] стало новым шагом в развитии энергосберегающего строительства: появляется необходимость в обосновании выбора сопротивления теплоотдаче стен.

Из данных представленных в работе [4] следует, что в период с 1979 приоритетом строительной отрасли в области энергосбережения становится «Минимизация затрат на возведение и эксплуатацию зданий». А с 2003 года по настоящее время целью является минимизация расхода на отопление.

Потенциально, одним из путей увеличения термического сопротивления стен без отягощения отрасли энергоёмкими процессами производства и монтажа систем утепления, является использование однослойных несущих конструкций из газобетона. Сам по себе газобетон является несущим слоем конструкции, обеспечивающим помимо несущей способности так же необходимые теплотехнические свойства: сопротивление теплопередаче конструкции. При этом газобетонные стены не требуют дополнительных затрат на утепление, следовательно, снимается целый ряд энергоёмких задач связанных с производством теплоизоляционных материалов и монтажом многослойных конструкций на их основе.

Действующие нормы не всегда успевают учитывать развитие отрасли строительных материалов. В качестве примера можно привести ограничение в плотности для газобетонов, используемых в сейсмических районах. Ранее газобетон пониженной плотности не обеспечивал требуемой прочности. На сегодняшний день на рынке представлены образцы газобетонов классом плотности D500, обладающие требуемой прочностью на сжатие [5]. Применение стенового материала пониженной плотности могло бы снизить инерциальные силы, что положительно сказалось бы на работе такого здания под сейсмическим воздействием. Однако, согласно действующим нормам, применение этого материала для возведения несущих стен недопустимо.

Еще одним аспектом развития строительной отрасли остаётся широкое применение в расчетах

программных комплексов, таких как ПК «Лира», «SCAD», «Ansys», «Robot» и прочие. Их использование позволяет исследователям разрабатывать и внедрять методики определения усилий в каменной кладке различной степени точности.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Применяемые во время исследования методики: теоретический анализ, численное моделирование, статистический анализ.

Структурно исследование можно разделить на составные части:

- 1) исследование на локальных моделях образцов кладки из различных материалов;
- 2) эксперименты на пространственных моделях зданий.

В первой части исследований была получена закономерность, отражающая взаимосвязь между прочностными характеристиками кладочных материалов и характеристиками интегрального конечного элемента численной модели кладки.

Каменная кладка, как основа несущей конструкции, - комбинация кладочных материалов (камня и раствора). Каждый из материалов кладки имеет свой физически нелинейный закон зависимости напряжений от деформаций. В случае моделирования каменной кладки методом конечных элементов «как есть» (с соблюдением геометрических и физических параметров камней и швов (т.н. дифференциальная модель)), возникает ряд определенных трудностей. Она сопряжены, в первую очередь с неоправданно высокой трудоёмкостью такого моделирования, а так же с недостаточной вычислительной мощностью компьютеров: потребовалось бы разбивать модель всего здания на конечные элементы с шагом несколько мм, при этом моделирование каждого камня и шва пришлось бы осуществлять вручную. Ключ к решению данной проблемы - интегральный конечный элемент, в который заложена закономерность работы кладки как анизотропного, но единого материала.

Во второй части исследований были проведены численные эксперименты с пространственными моделями зданий. Были заданы три типа конфигурации (этажность, размеры элементов несущей системы) каждый из которых соответствует минимальным требованиям норм по сейсмостойкому строительству при нагрузке отвечающей 7-ми, 8-ми и 9-ти баллам сейсмического воздействия по [6].

Модели зданий для опытов имеют такую конфигурацию, при которой размеры простенков минимальны, а планировка имеет простую и регулярную структуру. Это упростило анализ результатов.

Конструкцию стен подбирали из условия обеспечения заданных теплотехнических характеристик. Толщина стен из газобетона

назначена так, что бы заданные теплотехнические требования были обеспечены без использования дополнительного утеплителя.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В первой части исследований было выполнено моделирование:

1. минерального клея при работе на растяжение и сжатие;
2. ячеистого бетона при работе на сжатие;
3. работы образца кладки на срез по перевязанному шву.

При моделировании использовали опубликованные результаты физических экспериментов [5, 7]. Рассмотренные образцы представлены на рис. 1.

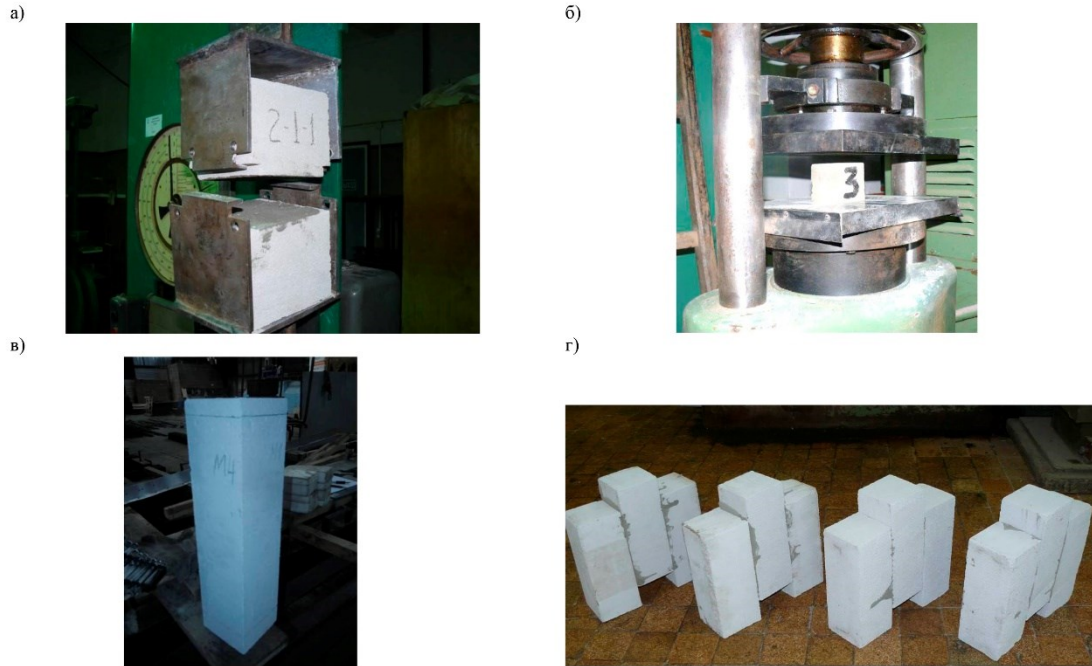


Рис. 1. Общий вид рассмотренных физических образцов:

а) испытание раствора на растяжение; б) испытание раствора на сжатие; в) испытание камня на сжатие; г) испытание кладки на срез

Fig. 1. General view of the physical samples examined: a) tensile test of mortar; b) compression test of mortar; c) compression test of ashlar; d) shear test of masonry

По результатам анализа исходных данных и результатов физических экспериментов были сформированы исходные данные для численного моделирования: сведения о материалах,

геометрических размерах образцов, характере и величине загрузки.

Численный эксперимент проводим путём формирования конечноэлементной модели физического прототипа (рис. 2).

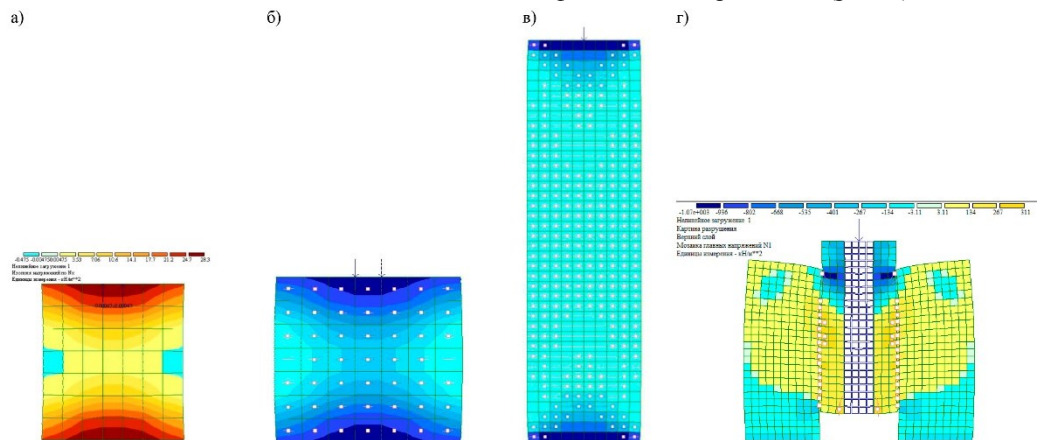


Рис. 2. Общий вид рассмотренных численных моделей:

а) испытание раствора на растяжение; б) испытание раствора на сжатие; в) испытание камня на сжатие; г) испытание кладки на срез

Fig. 2. General view of the considered numerical models: a) tensile test of mortar; b) compression test of mortar; c) compression test of ashlar; d) shear test of masonry

В качестве результатов анализировали напряженно-деформированное состояние рассмотренных численных моделей и характер разрушения. Характер и значения графиков, полученных экспериментальным путём и методом

численного моделирования, согласуются (рис. 3). Нелинейные свойства кладки смоделированы корректно и пригодны для создания пространственных моделей несущей системы здания.

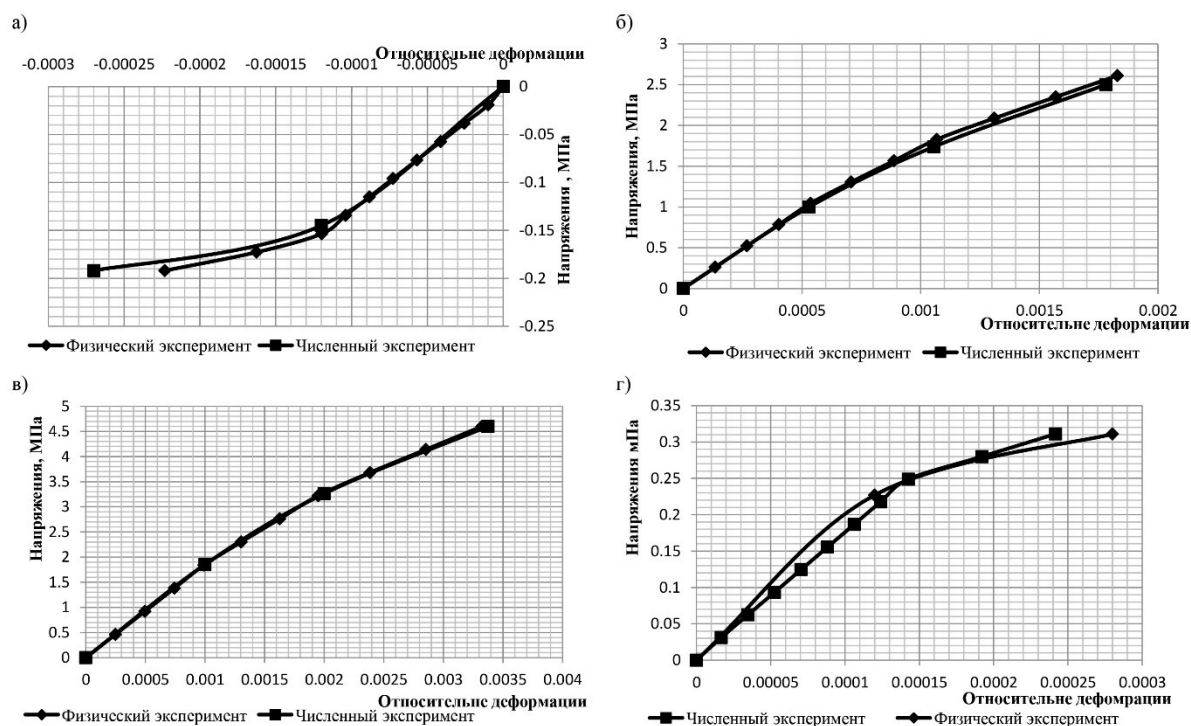


Рис. 3. Сопоставление результатов физических экспериментов и численного моделирования:

а) испытание раствора на растяжение; б) испытание раствора на сжатие; в) испытание камня на сжатие; г) испытание кладки на срез

Fig. 3. Comparison of results between physical experiments and numerical modeling:

a) tensile test of mortar; b) compression test of mortar; c) compression test of ashlar; d) shear test of masonry

Таблица 1. Результаты определения разрушающей нагрузки от сейсмического воздействия при различных вариантах армирования кладки композитными сетками

Table 1. Results of determining the destructive load from seismic impact for different options of reinforcing masonry with composite meshes

№	Интенсивность сейсмического воздействия, баллы	Армирование	Коэффициент к сейсмической нагрузке при разрушении
1.	7	нет	1,9
2.	7	Композитная сетка 0,041% (горизонт)	2,2
3.	7	Композитная сетка 0,25% (горизонт)	3,2
4.	7	Композитная сетка 1% (горизонт)	3,4
5.	7	Композитная сетка вертикаль.0,041%+горизонт.0,041%	4,1
6.	8	нет	1,1
7.	8	Композитная сетка 0,057% (горизонт)	1,1
8.	8	Композитная сетка 0,25% (горизонт)	1,6
9.	8	Композитная сетка 1% (горизонт)	2
10.	8	Композитная сетка вертикаль.0,057%+ горизонт.0,057%	1,9
11.	9	нет	0,7
12.	9	Композитная сетка 0,057% (горизонт)	0,5
13.	9	Композитная сетка 0,25% (горизонт)	0,9
14.	9	Композитная сетка 1% (горизонт)	1
15.	9	Композитная сетка вертикаль.0,057%+ горизонт.0,057%	1,1

Дальнейшие исследования проводили на пространственных моделях. Были заданы три типа конфигурации (этажность, размеры элементов несущей системы) каждый из которых соответствует минимальным требованиям норм по сейсмостойкому строительству при нагрузке отвечающей 7-ми, 8-ми и 9-ти баллам сейсмического воздействия по [6]. Принимаем следующие параметры и их значения: высота этажа: 3 м (как наиболее распространенное значение в жилищном строительстве); количество этажей: 1 этаж для сейсмичности 9 баллов и 2 этажа для 7 и 8 баллов (согласно п.9, табл. 6.1 [6]); расстояние между осями поперечных стен здания: 9 м (согласно п. 6.14.9 [6]). Изначально задавшись количеством окон, а так же расстоянием между продольными и поперечными осями стен, размеры простенков принимаем минимальными в соответствии с таблицей 6.2. [6]. По результатам теплотехнического расчета в соответствии с требованиями [8] назначаем толщину стены из газобетона равную 350 мм. Она соответствует условиям г. Симферополь.

Загружение модели формируем при помощи шагового процессора. Все статические нагрузки (постоянные, длительные, временные) совмещаем в одном нагружении с соответствующими сейсмическими коэффициентами. Сейсмическую нагрузку формируем как статическое нагружение: суммарную нагрузку для каждого этажа и распределяем равномерно между всеми узлами в уровне перекрытия данного этажа.

В качестве результата фиксируем коэффициент к сейсмическому нагружению, при котором диагностируется разрушение модели (табл. 1).

## ВЫВОДЫ

1. Применение однослойных несущих конструкций из газобетона в потенциале способно снизить энергоемкость строительной отрасли на всех стадиях жизненного цикла объектов строительства и обеспечить требуемые теплотехнические характеристики возводимых и реконструируемых зданий.

2. Комбинированные конструкции из ячеистых бетонов с использованием армирования композитными полимерными сетками - существенный ресурс увеличения несущей способности зданий в условиях сейсмического воздействия. Действующие нормы имеют ряд ограничений, связанных со строительством в сейсмических районах, которые отчасти возникли из-за несовершенства методик расчетов положенных в основу нормативных документов. Использование современных кладочных материалов и машинных методик расчетов могут в потенциале расширить область применения кладки из легких бетонов.

3. Дальнейшее развитие исследования данного вопроса могут получить в области поиска методов повышения несущей способности зданий из легких

бетонов при сейсмическом воздействии, за счет вертикального армирования композитными полимерными сетками. Эти методы усиления относительно новы и имеют большой потенциал в повышении несущей способности зданий при сейсмическом воздействии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М.: Минрегион России, 2011.-19 с.
- Горшков А.С., Ливчак В.И. История, эволюция и развитие нормативных требований к ограждающим конструкциям // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 3(30). С. 7-37.
- СНиП II-A.7-71. Строительная теплотехника. Нормы проектирования - М: Госстрой СССР, 1972
- Гринфельд Г. И. Диалектика нормативных требований к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций// Жилищное строительство. 2012. № 1. С. 22-24.
- Смирнов В.И., Грановский А.В. и др. Технический отчет по теме «Определение нормального и касательного сцепления кладки из блоков из ячеистого бетона автоклавного твердения на различных клеевых составах», ОАО "НИЦ "СТРОИТЕЛЬСТВО", Москва, 2013 г.
- СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\*.- М.: Стандартинформ, 2018.- 122 с.
- Смирнов В.И., Грановский А.В. и др. Научно-технический отчет по теме «Проведение исследований конструкций из ячеистобетонных блоков YTONG производства ЗАО «Кесла-Аэроблок-Центр» на клею марки YTONG для сейсмостойкости стен зданий», ОАО "НИЦ "СТРОИТЕЛЬСТВО", Москва, 2010 г.
- СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – М.: Минстрой России, 2024.-93 с.

## REFERENCES

- GOST 30494-2011. Residential and public buildings. Indoor microclimate parameters. – M: Ministry of Regional Development of the Russian Federation, 2011.-19 p.
- Gorshkov A.S., Livchak V.I. History, evolution and development of regulatory requirements for enclosing structures // Construction of unique buildings and structures. 2015. No. 3 (30). P. 7-37.
- SNiP II-A.7-71. Construction heat engineering. Design standards - M: Gosstroy of the USSR, 1972
- Grinfeld G.I. Dialectics of regulatory requirements for heat transfer resistance of enclosing structures // Housing construction. 2012. No. 1. P. 22-24.
- Smirnov V.I., Granovsky A.V. and others. Technical report on the topic "Determination of normal

and tangential adhesion of masonry from autoclaved aerated concrete blocks on various adhesive compositions", JSC "NITs "STROITELSTVO", Moscow, 2013.

6. SP 14.13330.2018 Construction in seismic areas. Updated version of SNiP II-7-81\*. - М.: Standartinform, 2018.- 122 p.

7. Smirnov V.I., Granovsky A.V. and others. Scientific and technical report on the topic "Conducting

research of structures from YTONG aerated concrete blocks produced by Kesla-Aeroblok-Center CJSC on YTONG glue for seismic resistance of building walls", JSC "NITs "STROITELSTVO", Moscow, 2010.

8. SP 50.13330.2012. Thermal protection of buildings. Updated version of SNiP 23-02-2003. –M: Ministry of Construction of Russia, 2024.-93 p.

## ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF MASONRY MADE OF AERATED CONCRETE BLOCKS REINFORCED WITH COMPOSITE POLYMER MESHES

Vasiliev M.V.<sup>1</sup>, Belavsky V.A.<sup>2</sup>, Tkachenko O.Y.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Institute "Academy of Construction and Architecture"  
181, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493,  
<sup>1</sup>wmv\_sapr@mail.ru, <sup>2</sup>belavsky@mail.ru, <sup>3</sup>krabeklac@gmail.com

**Abstract.** The article presents modeling cellular concrete masonry reinforced with composite meshes. Local numerical models were verified by physical experiments. Using three-dimensional models, an assessment of impact on bearing capacity of reinforcing the masonry with composite polymer meshes was made.

**Subject:** numerical modeling of stress-strain state for buildings made of cellular concrete masonry.

**Materials and methods:** the research was carried out on numerical models in the LIRA-SAPR software using the finite element method in a physically nonlinear formulation.

**Results:** using local models, nonlinear characteristics were determined that allow reliable modeling of cellular concrete masonry. Then, using three-dimensional models, an assessment was made of the effect of the usefulness, type and degree of reinforcement of cellular concrete masonry with composite polymer meshes.

**Conclusions:** cellular concrete masonry is a material that allows for an energy-efficient building. Reinforcement of masonry using composite polymer meshes allows to significantly increase the seismic resistance of the building's load-bearing system.

**Key words:** cellular concrete, masonry, seismic impact, strength of lightweight concrete masonry, masonry modeling.

УДК 693.554.6

## СНИЖЕНИЕ РЕСУРСОЁМКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАБОТ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ФУНДАМЕНТОВ И ПЕРЕКРЫТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ВЯЗКИ АРМАТУРНЫХ СЕТОК

Шаленный<sup>1</sup> В.Т., Акимов<sup>2</sup> С.Ф., Селимов<sup>3</sup> М.Э.

<sup>1,2,3</sup>Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского, институт «Академия строительства и архитектуры»  
295943, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181,  
e-mail: <sup>1</sup> v\_shalennyj@mail.ru, <sup>2</sup>seyran-23@mail.ru,  
<sup>3</sup>kuron9088kit@gmail.com

**Аннотация.** В статье изложена сущность усовершенствованной технологии производства арматурных работ для снижения трудоёмкости и ресурсоёмкости монолитных железобетонных конструкций фундаментов и плит перекрытий. Совершенствование заключается в разработке и патентовании ручного механизированного инструмента для вязки арматурных сеток и каркасов с одновременным обеспечением защитного слоя бетона установкой фиксаторов из бетона или пластмассы.

**Предмет исследования:** технологические операции вязки крестообразных соединений арматурных стержней сеток плитных фундаментов и перекрытий для снижения их трудоёмкости и тяжести, как перспективное направление экономии трудовых ресурсов и стоимости железобетонных работ.

**Материалы и методы:** анализ производственного опыта, патентных и литературных источников, обоснование цели и направлений совершенствования технологии и организации производства арматурных работ, разработка и патентование усовершенствованного инструмента для вязки крестообразных соединений сеток для фундаментов и перекрытий, описание предлагаемой технологии производства арматурных работ.

**Результаты:** обоснованно предложена и представлена технология вязки арматурных сеток для монолитных железобетонных фундаментов и перекрытий с оценкой ожидаемой социально-экономической эффективности.

**Выводы:** Предложенное усовершенствование устройства для позиционирования арматурных стержней для их вязки, заключающееся в применении не постоянного, а электрического магнита с блоком его питания и отключения, позволяет, с одной стороны, как и в прототипе, обеспечить нужное позиционирование, а с другой, при отключении питания электромагнита, намного легче извлечь данное устройство. Следовательно, достигается заявленный положительный эффект снижения тяжести и трудоёмкости производства арматурных работ, как слабо изученного направления снижения затрат ресурсов при устройстве монолитных железобетонных фундаментов и плит перекрытий.

**Ключевые слова:** ресурсоёмкость, трудоёмкость и тяжесть, арматурные работы, вязка, инструмент.

### ВВЕДЕНИЕ

Из публикации авторитетнейшего ученого и организатора, профессора Лapidуса А.А. следует, что «... в последние 20 лет темпы роста производительности труда в строительстве значительно отстают от темпов роста в других секторах. Так, в общеэкономическом разрезе, производительность труда ежегодно растёт в среднем на 2,8% (в некоторых отраслях данный показатель достигает уровня 3,6%), в то время как в строительстве темпы роста не превышают 1%, а в ряде стран эти показатели и вовсе не изменяются или даже снижаются (как, например, в России в период с 2008 г.)» [1]. И хотя в 2022 году, «... согласно различным оценкам и статистическим данным, прирост производительности труда строительной сферы России составил 1,8%, что крайне мало для стабильного развития строительного комплекса страны» [2]. Ведь дефицит рабочих кадров в 2023 году составил 1,2 млн. чел. [3]. Кроме дефицита кадров, насущной проблемой остаются вопросы экономии других видов ресурсов, таких как материалы, энергия, финансовые затраты, снижение труда рабочих, в том числе, за счёт применения инновационного инструмента и др.

### АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА, ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕЛИ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

В современном монолитном строительстве приоритетной задачей является уменьшение материалоёмкости конструкции путём применения технологических приёмов рационального использования материалов, а также снижение трудозатрат на весь период строительства, а затем и эксплуатации объекта. Продолжаются и теоретические разработки методологии выбора эффективных и даже оптимальных организационно-технологических решений при проектировании и осуществлении проектов современных строительных объектов [4].

Общепризнано, что материалоёмкость конструкций фундаментов в значительной части предопределяется весом вышележащих вертикальных и горизонтальных конструкций, к которым, прежде всего, относятся железобетонные перекрытия. Наиболее распространёнными сейчас считаются монолитные плитные или ребристые железобетонные перекрытия. Но недостатком такого перекрытия является высокий собственный вес конструкции. Из-за этого требуется усилить

все несущие элементы каркаса здания. Данная необходимость приводит к увеличению расхода материалов, трудозатрат, и, как следствие, увеличение финансовых расходов на строительство. Исходя из этого, в последнее время разрабатываются эффективные конструктивно-технологические решения облегчённых сборно-монолитных перекрытий.

Например, расположение в толще железобетонных перекрытий лёгких вкладышей из пенополистирола приводит к снижению их собственного веса и, как следствие, к уменьшению нагрузок на перекрытия, вертикальные конструкции и фундаменты, что позволяет снизить материалоемкость данных конструктивных элементов. А использование несъёмной опалубки позволяет сократить трудозатраты на сборку-разборку опалубки. Таким образом, за счёт применения несъёмной опалубки и вкладышей из пенополистирола, устроенная конструкция сразу будет иметь повышенную степень строительной готовности, что, в свою очередь, приведёт к экономии трудозатрат и других ресурсов.

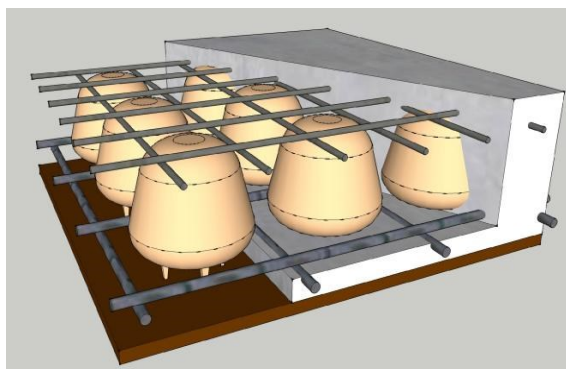
Исходя из этого, достичь снижения ресурсоемкости можно путём уменьшения собственного веса плоских плит перекрытий и фундаментов в монолитном каркасе здания за счёт замены части бетона пластиковыми вкладышами различной формы: шарами и подобными им телами вращения (технология Bubble Deck), прямоугольными параллелепипедами (технология NAUTILUS) и др. В своих проектах, разработчики показывают до 35%, и даже до 50% экономии железобетона с вытекающими отсюда другими улучшенными технико-экономическими показателями (стоимость, сроки) [5, 6]. Проводились и аналитические исследования сравнительных прочностных и деформационных свойств таких систем по сравнению со сплошной железобетонной плитой [7]. Однако эти исследования в упомянутой работе не доведены до уровня оценки экономической эффективности внедрения технологии на конкретных объектах.

Известные российские специалисты также обратили внимание на перечисленные конструктивные системы, и предложили их использование для замены деревянных перекрытий, как наиболее материалоемких конструкций гражданских зданий, в частности, при их капитальном ремонте [8]. Авторами разработаны и рекомендованы для реконструкции перекрытий технологии с использованием не извлекаемых шаровидных и призматических вкладышей из пластика и пенополистирола, обеспечивающие сокращение продолжительности работ на 18-20% с соответствующим улучшением других экономических и эксплуатационных показателей. Рассматривается возможность использования облегчённых конструкций, в том числе и при замене перекрытий в реконструируемых зданиях и в статьях [9, 10]. Отмечается, что это позволяет снизить нагрузки на существующие конструкции

стен и фундаментов, а также снизить материалоемкость самих перекрытий.

Рассмотрена также возможность использования пустотных форм при устройстве монолитных фундаментов. Так запроектирована фундаментная плита средней части стилобата жилого комплекса в Московской области, где расчёт базовой пластины был проведён в SCAD Office пакета программного обеспечения. Экономия бетона составила 22,3%, армирования – 5% [11].

После проведения патентного поиска, изучения сведений из сети Интернет и, частично представленного здесь, литературного обзора, с нашим участием, синтезирована и запатентована оригинальная конструкция плоского монолитного перекрытия, имеющая отличительные признаки и новый технический результат, заключающийся в снижении расхода железобетона за счёт учёта действительной работы сечения этой железобетонной конструкции [12]. Указанный технический результат достигается тем, что конструкция монолитного перекрытия, имеющая верхнюю и нижнюю, расположенные в горизонтальных плоскостях, проволочные сетки, между которыми расположены ряды каркасов, чередующиеся с вкладышами. Пространство между этими вкладышами заполнено бетоном, а сами вкладыши выполнены с ножками, разъёмными, состоящими не менее чем из двух частей (рис. 1). Как видно из этого рисунка, вкладыши представляют собой пространственные объёмные тела вращения по форме близкие к форме груши.



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

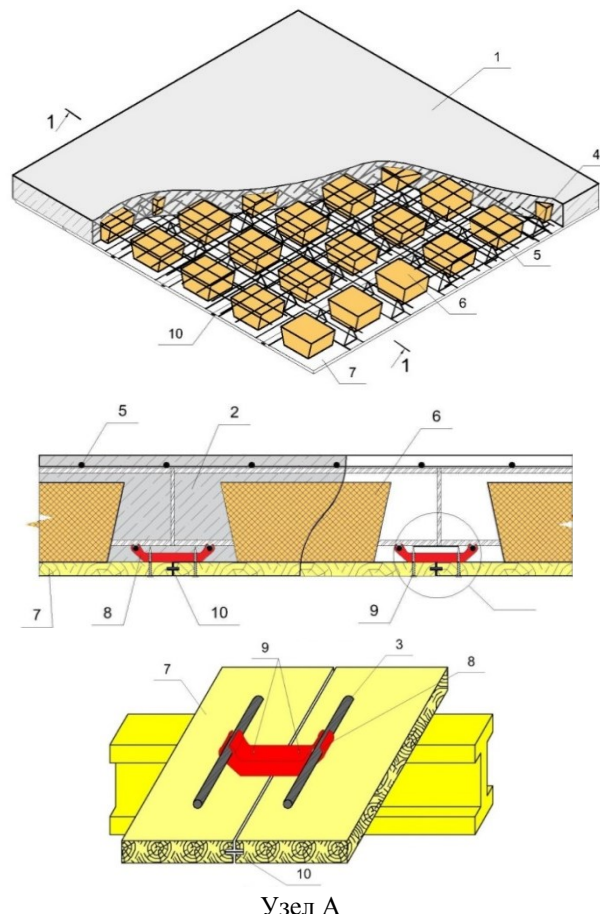
Перспективными нам представляются и конструкции железобетонных междуэтажных перекрытий с несъёмной опалубкой со сборно-монолитными несущими балками, между которыми располагают всевозможные вкладыши, заменяющие железобетон более лёгким строительным материалом, например, пенополистиролом, поверх которого затем бетонируется тонкая железобетонная плита. Чем достигается существенная экономия тяжёлого бетона, уменьшается собственный вес перекрытия, сокращается тем самым и расчётная постоянная нагрузка от перекрытия, под которую

проектируются несущие конструкции и снижаются расходы на отделочно-изоляционные работы полученной поверхности потолка. Дальнейшим её ресурсосберегающим развитием нам представляется использование также плитной сборно-монолитной конструкции перекрытия, опирающейся на все четыре стороны. В таком варианте системы, сочетание монолитного железобетонного пояса и сборно-монолитного перекрытия по усовершенствованной таким образом технологии VELOX с опиранием на все его стороны, даст более весомый синергетический эффект экономии материалов, прежде всего, тяжёлого железобетона. Для решения поставленной задачи предлагается сборно-монолитное железобетонное перекрытие, состоящее из выполненных заодно плиты и балок с арматурой, расположенных по двум направлениям и образующих сетку с соотношением сторон менее двух. При этом арматурные каркасы балок имеют треугольную форму в плоскости, перпендикулярной их продольным осям, а арматурная сетка плиты связана с арматурным каркасом каждой балки, имеющим треугольную форму. Между упомянутыми балками размещены не заполняемые бетоном ячейки, находящиеся в пространстве между балками до плиты (рис. 2), патент РФ на полезную модель №190006 [13].

Применяя предложенную конструкцию перекрытия, ещё в технологическом процессе её изготовления, удастся получить конструктивную систему, обеспечивающую выполнение несущих, изолирующих и отделочных функций без необходимости последующего выполнения большинства трудоёмких и тяжёлых отделочных и изоляционных работ. Это обеспечивается предварительно создаваемой герметичной сплошной несъёмной опалубкой. Предложенные фиксаторы одновременно выполняют роль жёстких соединений отдельных щитов в геометрически устойчивую и не изменяемую систему [14]. Таким образом, устроенная конструкция сборно-монолитного перекрытия будет иметь повышенную степень строительной готовности сразу же после её изготовления в одном комплексном строительнотехнологическом процессе. А следовательно, предлагаемая технология интенсифицирует комплексный строительный процесс, снижает его трудоёмкость и стоимость.

В самом фундаментастроении проблемам конструкций, технологии и организации работ по устройству подземной части зданий и сооружений посвящены работы профессоров из Санкт-Петербурга, Москвы, Перми, Волгограда и других городов России. Доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии строительного производства Санкт-Петербургского архитектурно-строительного университета доцент Гайдо Антон Николаевич проанализировал различные качественные показатели, характерные для современных способов устройства свайных фундаментов и ограждений котлованов [15]. Они в

различной степени проявляются в зависимости от конкретных инженерно-геологических условий. Прогнозировать эффект от их реализации – трудноосуществимая задача. Автором разработана методика оценки их качественных характеристик в единой цифровой шкале.



**Рис. 2.** Усовершенствованное сборно-монолитное железобетонное перекрытие по базовой VELOX-технологии:

1 – сборно-монолитная плита; 2 – монолитная балка; 3 – арматура; 4 – арматурные каркасы; 5 – арматурная сетка плиты; 6 – трапециевидные вкладыши из пенополистирола; 7 – несъемная дощатая опалубка; 8 – фиксаторы положения нижней арматуры; 9 – винты-саморезы; 10 – шпунтовое соединение досок из арболита или фанеры

**Fig. 2.** Improved precast-monolithic reinforced concrete floor using basic VELOX technology:

1 – precast-monolithic slab; 2 – monolithic beam; 3 – reinforcement; 4 – reinforcement cages; 5 – reinforcement mesh of the slab; 6 – trapezoidal inserts made of expanded polystyrene; 7 – permanent plank formwork; 8 – lower reinforcement position fixators; 9 – self-tapping screws; 10 – tongue and groove connection of wood concrete or plywood boards

Ресурсосберегающему совершенствованию конструкций и технологии производства строительных и реконструкционных работ посвящена монография известных специалистов из Волгограда [16]. Для уменьшения потребления стали в конструкции фундаментов предлагают использовать стеклокомпозитные стержни в

качестве основного армирующего материала [17]. В процессе научно-исследовательских работ разработана специальная методика проектирования с учетом уникальных характеристик стеклокомпозитной арматуры, адаптированная для конкретной строительной компании. Судя по последним публикациям, в этом направлении работают и специалисты нашей академии [18].

Большое внимание специалисты обращают и на устройство новых ресурсоэкономных фундаментов вблизи существующих объектов, а особенно, в местах исторически ценной застройки [19, 20]. Основные способы защиты существующей застройки от влияния нового строительства предусматривают недопущение дополнительных деформаций. В Москве и Санкт-Петербурге несколько объектов построено по методу «сверху - вниз» [21]. Такую технологию и организацию работ развивалась и с нашим участием - предложены запатентованная конструкция и технология устройства монолитных железобетонных свай-колонн повышенной несущей способности [22]. В развитие этих предложений, позже выполнена и защищена магистерская выпускная работа, где устройство свай-колонн дополнено технологией и организацией устройства ребристых монолитных железобетонных перекрытий в направлении «сверху-вниз» или декельный метод [23]. Имеются и выполненные с обучающимися разработки по одновременному усилению грунтов основания и ленточных фундаментов в процессе реконструкции гражданских объектов [24]. Серьезные публикации и реализованные проекты в области ресурсоэкономного фундаментостроения имеет и заведующий кафедрой геотехники и конструктивных элементов зданий нашей академии, доцент Дьяков Игорь Михайлович [25 -27].

Таким образом, анализ состояния вопроса по доступным источникам из литературы и практики подтвердил, что ресурсосбережение декларируется как одно из ключевых направлений развития как строительной отрасли в целом, так и монолитного строительства в частности. Существует множество прогрессивных конструктивно-технологических решений и апробированных строительной наукой методов, позволяющих добиться существенной экономии денежных, материальных и трудовых ресурсов при их использовании. Однако вопросы совершенствования технологии и организации арматурных работ для снижения их трудоемкости и стоимости, в отличие от других направлений, должного разрешения до сих пор не получили в строительной науке и практике.

Цель исследований – снижение трудоёмкости и стоимости производства арматурных работ путем совершенствования ручных технологических операций вязки сеток и каркасов.

Задачи:

1) проанализировать отечественный и зарубежный опыт снижения ресурсоёмкости при устройстве железобетонных монолитных

перекрытий и фундаментов зданий и сооружений для определения цели и мало изученных направлений исследований;

2) предложить и запатентовать технологию и организацию арматурных работ с использованием инновационного инструмента для крестообразного соединения стержней арматуры плитных железобетонных конструкций фундаментов и перекрытий;

3) изложить сущность и перспективы внедрения предложенной технологии с предварительной оценкой ее сравнительной социально-экономической эффективности.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗРАБОТКИ

В монолитном строительстве после раскладки арматурных стержней нижнего слоя существует проблема подкладки под арматурную сетку фиксаторов, для организации защитного слоя бетона (рис. 3). Также применяется способ, когда рабочие, разложив, например, продольную арматуру нижнего слоя, должны выполнить вязку поперечных стержней с продольными, одновременно организовывая необходимую по проекту защитный слой. Этот контролируемый процесс еще называют позиционированием.

Известно множество устройств позиционирования арматурных стержней в узле их крестообразного соединения с обеспечением проектного защитного слоя бетона между опалубкой и самими стержнями. Одним из вариантов считаем фиксирующее устройство по патенту США № US 7322158, опубл. 29.01.2008, содержащее стойку и разжимающиеся взаимно перпендикулярные фиксаторы арматурных стержней на ней [28]. Но в этом устройстве не рассматривается и не решается задача снижения трудозатрат и мускульной энергии арматурищика,



Рис. 3. Фото армирования фундаментной железобетонной плиты

Fig. 3. Photo of the reinforcement of the reinforced concrete foundation slab

необходимой для постановки самого устройства и заведения в него арматуры, невозможно сварное соединение перекрещивающихся стержней арматуры. А его отсутствие негативно влияет на

прочностные и деформативные свойства создаваемой железобетонной конструкции. Такой же принцип и те же недостатки прослеживаются и в аналогичном устройстве российских изобретателей по патенту RU №2581985 С2 [29].

Немного позже, российскими же изобретателями, предложено устройство для позиционирования арматурных стержней для их вязки [30]. Оно состоит из рукоятки и основания, в нижней части которого выполнен по меньшей мере один упор, а в средней части расположен зацеп и закреплена магнитная накладка. Использование постоянного магнита в накладке позволяет зафиксировать арматурные стержни для их вязки проволокой, но, после выполнения указанной операции, необходимо отделить узел накрест скрепленной арматуры от данного устройства позиционирования. А этому будет препятствовать как собственный вес находящейся на нем арматуры, так и усилие сцепления этой же арматуры с постоянным магнитом накладки. В связи с чем, устройство по выбранному прототипу имеет недостаток увеличенных затрат мускульной энергии арматурщиков, потраченной для его отделения от связанных арматурных стержней.

Поэтому в основу совершенствования устройства для позиционирования арматурных стержней для их вязки нами поставлена задача снижения тяжести труда арматурщиков за счет снижения преодолеваемых усилий при его извлечении после осуществления операции вязки.



**Рис. 4.** Общий вид и последовательность технологических операций вязки арматурных сеток с использованием инновационного инструмента  
**Fig. 4.** General view and sequence of technological operations for knitting reinforcing meshes using an innovative tool

Для чего предлагается под магнитной накладкой смонтировать электрический магнит с системой его питания и отключения. Эту систему составляют блок питания, кнопочный выключатель и коммутационные элементы (провода) [31]. Сущность нашей полезной модели поясняется прилагаемой схемой устройства на рисунке 5а, а на рисунке 5б, представлен вид сбоку этого же устройства в момент фиксации соединения арматурных стержней. Устройство для позиционирования арматурных стержней для их вязки состоит из рукоятки 1 и основания 2, в нижней части которого выполнен, по меньшей мере, один упор 3, а несколько выше, в средней части основания 2 расположен зацеп 4 и закреплена магнитная накладка 5. Под накладкой 5, на основании 2 смонтирован электрический магнит 6, с блоком питания 7 и кнопкой 8 его включения и выключения.

Использование предлагаемого устройства заключается в ниже следующем. Перед фиксацией крест-накрест соединяемых стержней арматуры они раскладываются на поверхности опалубки

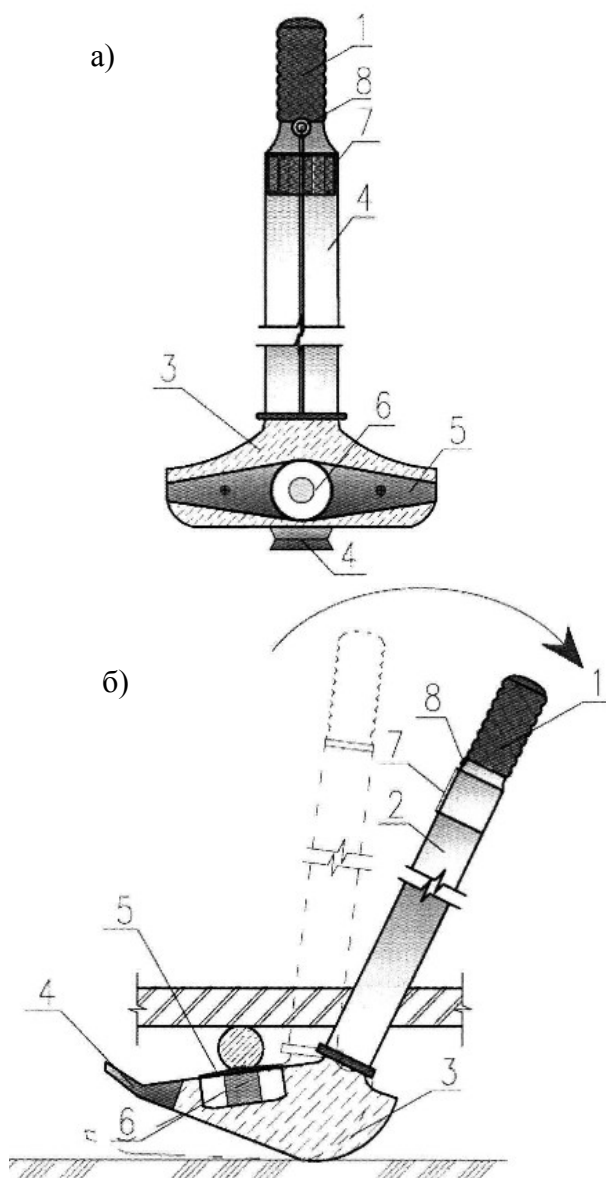
перекрытия или ранее выполненной бетонной подготовки будущего фундамента.

Под место пересечения стержней, удерживая устройство позиционирования рукояткой 1, рабочий-арматурщик подводит под нижний из них зацеп 4 так, чтобы этот стержень оказался на нем. Далее, поворачивая основание 2 на упоре 3 вниз, как стрелкой показано на рисунке 5б, кнопкой 8 на рукоятки 1, подают электрический ток на электромагнит 6 от блока питания 7. Накладка 5 при включенном электромагните 6 намагничивается и, в свою очередь, притягивает к себе арматурные стержни в необходимом для их вязки и установки на фиксаторы защитного слоя бетона, положении. Далее производят вязку проволокой или электросварку арматуры в приподнятом узле пересечения стержней, после чего, отключив электромагнит 6 той же кнопкой 8, извлекают устройство позиционирования из-под образованного узла пересечения арматуры. Поскольку электромагнит 6 отключен, накладка 5 легко отделяется от арматуры, находящейся в нужном проектом ее положении на установленных подкладках-фиксаторах будущего защитного слоя бетона.

В предложенном усовершенствовании, все элементы выполняют те же функции, что и в прототипе, но, после отключения электромагнита, усилие прихватки магнита к арматурным стержням многократно снижается. А за ним, соответственно снижаются и затраты арматурщиков для извлечения устройства из-под образованного вязанием узла пересечения арматурных стержней.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, предложенное усовершенствование устройства для позиционирования арматурных стержней для их вязки, заключающееся в применении не постоянного, а электрического магнита с блоком его питания и отключения, позволяет, с одной стороны, как и в прототипе, обеспечить нужное позиционирование, а с другой, при отключении питания электромагнита, намного легче извлечь данное устройство. Следовательно, достигается заявленный положительный эффект снижения тяжести и трудоемкости производства арматурных работ, как слабо изученного направления снижения затрат ресурсов при устройстве монолитных железобетонных фундаментов и плит перекрытий.



**Рис. 5.** Усовершенствованное устройство-инструмент для позиционирования арматурных стержней: *a* – вид спереди; *б* – вид сбоку

**Fig. 5.** Improved device-tool for positioning reinforcement bars: *a* – front view; *b* – side view

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапидус, А.А. Факторы производительности труда при строительстве складской инфраструктуры: концептуальные основы. Построение концептуальной системы факторов производительности труда при строительстве складов / А.А. Лапидус, А.М. Кардава // Строительное производство. – 2024. – №2. – С. 65-71. – DOI 10.54950/26585340\_2024\_2\_65. – EDN GYUBTZ.
2. Фатуллаев, Р.С. Оценка влияния степени механизации на трудоёмкость работ по капитальному ремонту в России и Испании / Р.С. Фатуллаев, А.Е. Боровкова, Д.С. Седов // Строительное производство. – 2024. – №2. – С. 94-100. – DOI 10.54950/26585340\_2024\_2\_94. – EDN GPGQJP.
3. Олейник, П.П. Ключевые задачи развития строительного производства / П.П. Олейник // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2023: Сборник докладов IV Национальной научной конференции, Москва, 15 декабря 2023 года. – М.: Московский государственный строительный университет (национальный исследовательский университет), 2024. – С. 992-995. – EDN KILLQV.
4. Лапидус, А.А. Обоснование процесса выбора организационно-технологических решений / А.А. Лапидус, П.П. Олейник // Промышленное и гражданское строительство. – 2024. – № 4. – С. 70-74. – DOI 10.33622/0869-7019.2024.04.70-74. – EDN IHPPPR.
5. Bubbledeck Two-Way Hollow Deck. URL: <http://www.bubbledeck-uk.com/pdf/bdoverview9-03.pdf>.
6. Bubble Deck Technology Uses Less Concrete by Filing The Slab With Beach Balls. – URL: <https://www.treehugger.com/green-architecture/bubble-deck-technology-uses-less-concrete-filing-slab-beach-balls.html>.
7. Sameer Ali, Manoj Kumar. Analytical Study of Conventional Slab and Bubble Deck Slab under Various Support and Loading Conditions Using Ansysworkbench 14.0 // International Research Journal of Engineering and Technology. Volume: 04 Issue: 05. (2017). – Pp. 1467-1472.
8. Afanasyev, G. Replacement of floor structures in capital repair with the use of not extractable void formers / E3S Web of Conferences 97, 06045 (2019) and Serafima Selviyan Perfohttps://doi.org/10.1051/e3sconf/20199706045.
9. Павлов, В.В. Конструкции перекрытий реконструируемых зданий // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 1 (72). – С. 38–42.
10. Топчий, Д.В. Техническое нормирование технологии устройства железобетонных плит перекрытия с применением неизвлекаемых вкладышей-пустотообразователей / Д.В. Топчий, А. С. Болотова, А.С. Воробьев, А.В. Атаманенко // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2019. – Т.20, №2. – С.155-162. – DOI 10.22363/2312-8143-2019-20-2-155-162. – EDN RJORAU.
11. Chunyaev, D. Selviyan, A. Selviyan, S. Performance evaluation of the effectiveness of the use of core drivers in the construction of base plates / E3S Web of Conferences 97, 06029 (2019). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199706029>.
12. Пат. № 185868 U1, Российская Федерация, МПК E04B5/02, МПК E04B1/98 (2006.01). Конструкция монолитного перекрытия / В.Т. Шаленный, О.Л. Балакчина, А.А. Смирнов. – заявка № 2017147103. – Заявл. 29.12.2017; опубл. 20.12.2018, Бюл. №35.
13. Пат. № 190006 U1, Российская Федерация, СПК E04B 5/36 (2020.01), E04G11/40 (2020.01). Сборно-монолитное железобетонное перекрытие / В.Т. Шаленный, С.Ф. Акимов, К.А. Леоненко, И.М. Долгошапко, В.Д. Малахов. - заявка № 2019 141926. – Заявл. 13.12.2019; опубл. 13.02.2020, Бюл. №5. – 5 с.
14. S. Akimov, V. Shalenny, K. Leonenko and Vladimir Malahov. A resource-efficient development of VELOX-technologies during erection and reconstruction of prefabricated monolithic floor slabs. FORM-2020. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 869 (2020) 072043 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/869/7/072043.
15. Гайдо, А.Н. Оценка показателей надежности и качества способов производства работ нулевого цикла / А.Н. Гайдо // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 1(78). – С.116-126. – DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-1-116-126. – EDN ESYPPS.
16. Абрамян, С.Г. Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии в строительстве / Абрамян, С.Г., Ишмаметов, Р.Х. // Волгогр. гос. техн. ун-т, 2018. – 232 с.
17. Застрелов, А.Н. Проектирование и возведение фундаментной плиты с композитной арматурой для многоэтажного дома / Застрелов А.Н., Какуша В.А., Корнев О.А., Ковалев М.Г., Лапишинов А.Е., Литвинов Е.А. // Промышленное и гражданское строительство. – 2024. – № 9. – С. 68-74. DOI: 10.33622/0869-7019.2024.09.68-74.
18. Родин, С.В. Применение неметаллической композитной арматуры в фундаментных конструкциях / Родин С.В., Богуцкий Ю.Г., Калафатов Д.А. // Методология безопасности среды жизнедеятельности: сборник научных трудов XVII Международной научно-практической конференции / научн. ред. Н.М. Ветрова; редкол.: О.Б. Жиленко. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2024. – С.295-298.
19. Бирюков, А.Н. Выбор свайных технологий для укрепления фундаментов при реконструкции исторических зданий гарнизона Санкт-Петербурга / А.Н. Бирюков, Ю.И. Тилинин // Актуальные проблемы военно-научных исследований. – 2024. – № 2(30). – С. 330-336. – EDN DESSCF.
20. Осокин, А.И. Технологическое обеспечение подземного строительства в условиях городской застройки / А.И. Осокин, О.О. Денисова,

Т.Н. Шахтарина // Жилищное строительство. – 2014. – № 3. – С. 16-24. – EDN RXOKJB.

21. Афанасьев, А.А. Декельный метод возведения зданий и заглубленных сооружений в стесненных условиях городской застройки / А.А. Афанасьев // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2010. – № 9(140). – С. 30-33. – EDN BDXHNO.

22. Shalenny, V. T. Resource saving pile columns and slabs in top-down technology / V. T. Shalenny // Construction of Unique Buildings and Structures. – 2020. – No. 6(91). – P. 9105. – DOI 10.18720/CUBS.91.5. – EDN PMOSIL.

23. Шаленный, В.Т. Интенсификация и эргономика строительного производства / В.Т. Шаленный. – М.: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "КноРус", 2021. – 340 с. – ISBN 978-5-4365-8243-6. – EDN INGYRA.

24. Шаленный, В.Т. Ресурсоэкономная технология одновременного усиления ленточного фундамента и оснований с их частичной разгрузкой / В.Т. Шаленный, С.Ф. Акимов, К.Г. Никогосов // Инновационное развитие строительства и архитектуры: взгляд в будущее: сборник тезисов участников Международного студенческого строительного форума – 2022, Симферополь, 17–19 ноября 2022 года. – Симферополь: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2022. – С. 314-319. – EDN JOZTBW.

25. Дьяков, И.М. Силовое взаимодействие отдельно стоящих фундаментов с основанием при быстром догружении / И.М. Дьяков, М.И. Дьяков // Строительство и реконструкция. – 2024. – № 3(113). – С. 21-30. – DOI 10.33979/2073-7416-2024-113-3-21-30. – EDN NKDLQE.

26. Колчунов, В.И. Способ усиления каркаса многоэтажного здания при неравномерных осадках фундаментов / В.И. Колчунов, И.М. Дьяков, С.В. Гречишников, М.И. Дьяков // Строительство и реконструкция. – 2019. – № 5(85). – С. 63-73. – DOI 10.33979/2073-7416-2019-85-5-63-73. – EDN OKFBCZ.

27. Дьяков, И.М. Исследование взаимодействия отдельно стоящих фундаментов с песчаным основанием при быстрых догружениях / И.М. Дьяков, М.И. Дьяков // Транспортные сооружения. – 2024. – Т. 11, № 2. – DOI 10.15862/12SATS224. – EDN TCLPYG.

28. Intersectional reinforcing bar support with c-shaped clamps (Поперечная опора из арматурных стержней с с-образными зажимами). // Inventor: Felix L. Sorkin, NO. 10/688,186 Filed: Oct. 20, 2003. United States Patent. Patent NO.: US 7,322,158 B1. Sorkin. Date of Patent: Jan. 29, 2008.

29. Патент №2581985 С2 Российская Федерация, МПК E04C 5/16. Устройство для фиксации арматурных стержней: № 2014133239/03: заявл. 12.08.2014: опубл. 20.04.2016. /А.В. Коротунов, О.Б. Ушков; заявитель ИП Коротунов Алексей Викторович, ИП Ушков Олег Борисович.

30. Патент №2817880 С1 Российская Федерация, МПК E04G21/12. Устройство для позиционирования арматурных стержней для их вязки; № 2023127792: заявл. 27.10.2023: опубл. 22.04.2024. / Пронин Алексей Васильевич, Пронина Татьяна Арнольдовна, Пронин Евгений Алексеевич.

31. Патент на полезную модель № 230358 U1 Российская Федерация, МПК E04G 21/12 (2006.01). Устройство для позиционирования арматурных стержней для их вязки: № 2024127219: заявл. 13.09.2024: опубл. 28.11.2024 /В.Т. Шаленный, М.Э. Селимов, Э.Р. Герай]; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского"- 4с.

## REFERENCES

1. Lapidus, A.A. Labor productivity factors in the construction of warehouse infrastructure: conceptual foundations. Building a conceptual system of labor productivity factors in the construction of warehouses / A.A. Lapidus, A.M. Kardava // Construction production. – 2024. – №2. – Pp. 65-71. – DOI 10.54950/26585340\_2024\_2\_65. – EDN GYUBTZ.

2. Fatullaev, R.S. Assessment of the impact of the degree of mechanization on the complexity of major repairs in Russia and Spain / R.S. Fatullaev, A.E. Borovkova, D.S. Sedov // Construction production. – 2024. – №2. – Pp. 94-100. – DOI 10.54950/26585340\_2024\_2\_94. – EDN GPGQJP.

3. Oleinik, P.P. Key objectives of the development of construction production / P.P. Oleinik // Current problems of the construction industry and education – 2023: Collection of reports of the IV National Scientific Conference, Moscow, December 15, 2023. – Moscow: Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), 2024. – Pp. 992-995. – EDN KILLQV.

4. Lapidus, A.A. Justification of the process of choosing organizational and technological solutions / A.A. Lapidus, P.P. Oleinik // Industrial and civil engineering. – 2024. – № 4. – Pp. 70-74. – DOI 10.33622/0869-7019.2024.04.70-74. – EDN IHPPPR.

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

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

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

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

- formers / E3S Web of Conferences 97, 06045 (2019) and Serafima Selviyan Perfohttps://doi.org/10.1051/e3sconf/20199706045.
9. Pavlov, V.V. Floor structures of reconstructed buildings // *Bulletin of Civil Engineers*. – 2019. – №1 (72). – Pp. 38–42.
10. Topchii, D.V. Technical regulation of the technology for the installation of reinforced concrete floor slabs with the use of non-removable void forming inserts / D.V. Topchii, A.S. Bolotova, A.S. Vorob'ev, A.V. Atamanenko // *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Engineering Research*. – 2019. – T.20, №2. – Pp.155-162. – DOI 10.22363/2312-8143-2019-20-2-155-162. – EDN RJORAU.
11. Chyunyuk, D. Selviyan, A. Selviyan, S. Performance evaluation of the effectiveness of the use of core drivers in the construction of base plates /E3S Web of Conferences 97, 06029 (2019). – URL: https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199706029.
12. Patent No. 185868 U1, Russian Federation, IPC E 04 In 5/02, IPC E04B1/98 (2006.01). The construction of a monolithic floor / V. Shalenny, O. Balakchina, A. Smirnov. – application no. 2017147103. – Application no. 29.12.2017; publ. 20.12.2018, Issue no. 35.
13. Patent No. 190006 U1, Russian Federation, SEC E04B 5/36 (20.01), E04G 11/40 (20.01). Prefabricated monolithic reinforced concrete floor / V. Shalenny, S. Akimov, K. Leonenko, I. Dolgoshapko, V. Malakhov. – application No. 2019 141926. – Application. 13.12.2019; publ. 13.02.2020, Bul. No. 5. – 5 p.
14. Akimov S., Shalenny V., Leonenko K. and V. Malahov A resource-efficient development of VELOX-technologies during erection and reconstruction of prefabricated monolithic floor slabs. FORM-2020. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 869 (2020) 072043 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/869/7/072043.
15. Gaido, A.N. Evaluation of reliability and quality indicators of zero-cycle work methods / A.N. Gaido // *Bulletin of Civil engineers*. – 2020. – № 1(78). – Pp.116-126. – DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-116-126. – EDN ESYFSS.
16. Abrahamyan, S.G. Energy-efficient and resource-saving technologies in construction / Abrahamyan, S.G., Ishmametov, R.H. // *Volgograd State Technical University*, 2018. – Pp. 232.
17. Strelov, A.N. Design and construction of a foundation plate with composite reinforcement for a multi-storey building // *Industrial and civil construction*. – 2024. – No. 9. – Pp. 68-74. DOI: 10.33622/0869-7019.2024.09.68-74.
18. Rodin, S.V. Application of non-metallic composite reinforcement in foundation structures / Rodin S.V., Bogutsky Yu.G., Kalafatov D.A. // *Methodology of environmental safety: collection of scientific papers of the XVII International Scientific and practical Conference / scientific ed. by N.M. Vetrova; editorial board: O.B. Zhilenko*. – Simferopol: "ARIAL", 2024. – Pp. 295-298.
19. Biryukov, A.N. The choice of pile technologies for strengthening foundations during the reconstruction of historical buildings of the garrison of St. Petersburg / A.N. Biryukov, Yu.I. Tilinin // *Actual problems of military scientific research*. – 2024. – № 2(30). – Pp. 330-336. – EDN DESSCF.
20. Osokin, A.I. Technological support of underground construction in urban conditions / A.I. Osokin, O.O. Denisova, T.N. Shakhtarina // *Housing construction*. – 2014. – No. 3. – Pp. 16-24. – EDN RXOKJB.
21. Afanasyev, A.A. Dekelny method of erecting buildings and buried structures in cramped conditions of urban development / A.A. Afanasyev // *Building materials, equipment, technologies of the XXI century*. – 2010. – № 9(140). – Pp. 30-33. – EDN BDXXHO.
22. Shalenny, V.T. Resource saving pile columns and slabs in top-down technology / V.T. Shalenny // *Construction of Unique Buildings and Structures*. – 2020. – No. 6(91). – Pp. 9105. – DOI 10.18720/CUBS.91.5. – EDN PMOSIL.
23. Shalenny, V.T. Intensification and ergonomics of construction production / V.T. Shalenny. – Moscow: "KnoRus Publishing House", 2021. – 340 p. – ISBN 978-5-4365-8243-6. – EDN INGYRA.
24. Shalenny, V.T. Resource-efficient technology of simultaneous reinforcement of strip foundations and foundations with their partial unloading / V.T. Shalenny, S.F. Akimov, K.G. Nikogosov // *Innovative development of construction and architecture: a look into the future: a collection of abstracts of participants of the International Student Construction Forum – 2022, Simferopol, November 17-19, 2022*. – Simferopol: "Arial", 2022. – pp. 314-319. – EDN JOZTBW.
25. Dyakov, I.M. Force interaction of free-standing foundations with the base during rapid reloading / I.M. Dyakov, M.I. Dyakov // *Construction and reconstruction*. – 2024. – № 3(113). – Pp. 21-30. – DOI 10.33979/2073-7416-2024-113-3-21-30. – EDN NKDLQE.
26. Kolchunov, V.I. A method for strengthening the frame of a multi-storey building with uneven precipitation of foundations / V.I. Kolchunov, I.M. Dyakov, S.V. Grechishnikov, M.I. Dyakov // *Construction and reconstruction*. – 2019. – № 5(85). – Pp. 63-73. – DOI 10.33979/2073-7416-2019-85-5-63-73. – EDN OKFBCZ.
27. Dyakov, I.M. Investigation of the interaction of free-standing foundations with a sandy base during rapid reloading / I.M. Dyakov, M.I. Dyakov // *Transport facilities*. – 2024. – Vol. 11, No. 2. – DOI 10.15862/12SATS224. – EDN TCLPYG.
28. Intersectional reinforcing bar support with c-shaped clamps. // Inventor: Felix L. Sorkin, NO. 10/688,186 Filed: Oct. 20, 2003. United States Patent. Patent NO.: US 7,322,158 B1. Sorkin. Date of Patent: Jan. 29, 2008.
29. Patent No.2581985 C2 Russian Federation, IPC E04C 5/16. Device for fixing reinforcing rods: No. 2014133239/03: application. 08/12/2014: publ. 04/20/2016. /A.V. Kortunov, O.B. Ushkov; applicant Individual entrepreneur Alexey Kortunov, Individual entrepreneur Oleg Ushkov.
30. Patent No.2817880 C1 Russian Federation, IPC E04G 21/12. A device for positioning reinforcing rods

for their binding; No. 2023127792: application 27.10.2023; publ. 22.04.2024. / Pronin Alexey, Pronina Tatyana, Pronin Evgeny.

31. Utility model patent No. 230358 U1 Russian Federation, IPC E04G 21/12 (2006.01). Device for

positioning reinforcing bars for their binding; No. 2024127219: application 13.09.2024; publ. 28.11.2024 / V.T. Shalenny, M.E. Salimov, E.R. Gerai; "V.I. Vernadsky Crimean Federal University" – 4 p.

## REDUCING THE RESOURCE INTENSITY OF REINFORCED CONCRETE WORKS DURING THE CONSTRUCTION OF FOUNDATIONS AND FLOORS USING A NEW TOOL FOR KNITTING REINFORCING GRIDS

Shalenny V.T., Akimov S.F., Selimov M.E.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University,  
Institute «Academy of construction and architecture»,  
181, Kievskaya str., Simferopol, 295050, Russian Federation

**Abstract.** The article describes the essence of the improved technology for the production of reinforcement works to reduce the labor intensity and resource intensity of monolithic reinforced concrete structures of foundations and floor slabs. The improvement consists in the development and patenting of a manual mechanized tool for knitting reinforcing nets and frames while providing a protective layer of concrete with the installation of fixators made of concrete or plastic.

**Subject of research:** technological operations of knitting cruciform joints of reinforcing bars of grids of slab foundations and ceilings to reduce their labor intensity and severity, as a promising direction of saving labor resources and the cost of reinforced concrete works.

**Materials and methods:** analysis of production experience, patent and literary sources, justification of the purpose and directions of improving the technology and organization of reinforcement work, development and patenting of an improved tool for knitting cruciform joints of grids for foundations and floors, description of the proposed technology for the production of reinforcement work.

**Results:** proposed and presented the technology of binding reinforcing grids for monolithic reinforced concrete foundations and floors with an assessment of the expected socio-economic efficiency.

**Conclusions:** the proposed improvement of the device for positioning reinforcing rods for their binding, which consists in using not a permanent, but an electric magnet with its power supply and disconnection unit, allows, on the one hand, as in the prototype, to provide the necessary positioning, and on the other, when the electromagnet is powered off, it is much easier to remove this device. Consequently, the stated positive effect of reducing the severity and complexity of the production of reinforcement work is achieved, as a poorly studied direction of reducing resource costs in the construction of monolithic reinforced concrete foundations and floor slabs.

**Key words:** resource intensity, labor intensity and severity, reinforcement work, binding, tool.

УДК 691.542

## РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ СЫРЬЕВЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ КАМНЕДОБЫЧИ ДИАБАЗОВЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Любомирский<sup>1</sup> Н.В., Федоркин<sup>2</sup> С.И., Бахтин<sup>3</sup> А.С., Бахтина<sup>4</sup> Т.А., Чунихин С.В.<sup>5</sup>

<sup>1-4</sup> ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского»,  
Институт «Академия строительства и архитектуры»,  
295493, Республика Крым, г. Симферополь, улица Киевская, 181

<sup>5</sup>Общество с ограниченной ответственностью «Фирма «Производственно-коммерческая организация «КРЫМ»,  
г. Симферополь, ул. Бородина, 14 «А»,  
e-mail: <sup>1</sup>niklub.ua@gmail.com, <sup>2</sup>kfu.fedorin@mail.ru, <sup>3</sup>aleserba@gmail.com, <sup>4</sup>t.bakhtina83@gmail.com,  
<sup>5</sup>karjerlozovoe@yandex.ru

**Аннотация:** настоящая статья посвящена разработке составов сырьевых смесей для получения портландцементного клинкера на основе отходов добычи диабазовых горных пород, являющихся побочным продуктом при производстве нерудных строительных материалов из природного диабазового камня.

**Предмет исследования:** возможность использования отходов промывки диабазовых горных пород в качестве глинистого сырья в смесях для производства портландцементного клинкера.

**Материалы и методы:** в качестве объектов исследования использованы несколько групп сырьевых материалов: в качестве глинистого сырья – отходы промывки диабазовых горных пород, образующиеся на предприятии по производству нерудных строительных материалов; в качестве карбонатного сырья – известняки Крымских месторождений; корректирующая добавка – кварцевый песок Казантипского месторождения. Сырьё исследовано с помощью современных методов исследования химического и фазово-минералогического состава, и гранулометрии. С помощью стандартных методик расчёта состава сырьевой смеси для получения портландцементного клинкера выполнен расчёт и проведена корректировка составов.

**Результаты:** расчёт двухкомпонентных смесей, состоящих из глинистого и карбонатного сырья с заданным значением коэффициента насыщения 0,9 показал, что значения силикатного модуля не соответствует требуемым пределам. Для соответствия необходимо введение корректирующей кремнеземистой добавки, в качестве которой был выбран кварцевый песок Казантипского месторождения с содержанием SiO<sub>2</sub> 96,24 %. Рассчитаны составы трёхкомпонентных смесей, для которых значения коэффициента насыщения и модулей соответствуют требуемым интервалам.

**Выводы:** установлено, что сырьевые смеси, состоящие из отходов промывки диабазовых горных пород, в качестве глинистого компонента, известняка Ульяновского месторождения в качестве карбонатного компонента и кварцевого песка Казантипского месторождения, по значениям коэффициента насыщения, силикатного и глиноземного модулей теоретически соответствуют требованиям, предъявляемым к сырьевым цементным смесям.

**Ключевые слова:** отходы переработки диабазовых горных пород; портландцементный клинкер; коэффициент насыщения; силикатный модуль.

Авторы выражают благодарность ООО «Фирма «ПКО «КРЫМ» за содействие и техническую поддержку в отборе проб техногенных отходов промывки диабазовых горных пород для проведения исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке ООО «Фирма «ПКО «КРЫМ» в рамках договора на выполнение научно-исследовательских работ № 11/6-15/Д-1369 от 26.05.2023 г.

### ВВЕДЕНИЕ

Современные экологические, экономические и социальные проблемы ставят ряд вопросов перед строительной индустрией. В частности, постоянный рост объемов строительства с одной стороны требуют постоянного наращивания объемов производства, а с другой стороны ухудшающаяся экологическая обстановка требует снижения нагрузки на окружающую среду. Одним из способов решения данного противоречия является использование вторичных ресурсов – отходов производств. Применение вторичных ресурсов позволяет снизить стоимость сырьевых компонентов, решить проблему утилизации и хранения отходов, снизить выбросы в окружающую среду и т.д. В данной работе исследовалась

возможность получения портландцементного клинкера на основе шламов промывки, образующихся при добыче и переработке диабазовых горных пород, которые являются нетоксичными отходами и содержат в своём составе глинистые минералы, подходящие для производства цемента.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Ожидается, что глобальный спрос на новые здания и инфраструктуру продолжит расти в ближайшие тридцать лет, что обусловлено ростом населения за данный период более чем на 20 % по сведениям ООН [1]. Рост населения с ростом урбанизации и развитием инфраструктуры увеличит потребность в новом строительстве [2]. Бетон является основным строительным материалом,

повсеместное использование которого обусловлено его положительными качествами – высокой прочностью, долговечностью, формуемостью, экономической эффективностью в производстве и транспортировке. В настоящее время в год производится около 30 млрд. м<sup>3</sup> бетона, и по прогнозам спрос вырастет на 23 % с 2014 по 2050 годы [3, 4]. Т.к. основным вяжущим в технологии бетона является портландцемент и его разновидности, то и объёмы производства портландцемента показывают стабильный рост на протяжении последних 100 лет, особенно во второй половине 20 столетия. Так по данным CEMBUREAU, в 1900 году общее мировое производство цемента составляло около 10 миллионов тонн, а в 1998 году оно составляло уже 1,6 млрд тонн [5]. Ожидается, что к 2050 году спрос на цемент, как на один из наиболее широко применяемых строительных материалов, достигнет 3,7-4,4 млрд. тонн [6, 7].

На данный момент 75,6 % мирового производства цемента приходится на долю стран Азии (большая часть приходится на Китай). В 1950 году Китай производил всего около 2 млн. тонн цемента в год, тогда как к 2020 году этот показатель увеличился до 2370 млн. тонн в год или 57,7 % мирового производства цемента [8]. Мировая торговля цементом и клинкером достигла пика в 2019 году и составила 215 млн. тонн в год. Распределение по странам Азии объёмов производства цемента в 2020 году следующее: Китай – 22 489 тыс. т, Индия – 20 850 тыс. т, Россия – 6 060 тыс. т, Япония – 4 917 тыс. т, Пакистан – 4 100 тыс. т, Таиланд – 3 243 тыс. т, Малайзия – 1 866 тыс. т [9]. В России в последние десятилетия объёмы производства цемента показывают стабильный рост. Так по данным Росстата в 2023 году объём производства цемента в России вырос на 3,6 %, до 63 млн. тонн [10].

В настоящее время для производства цемента используется большое количество первичного сырья [11]. Из-за высокого спроса на цемент, существует дефицит качественного сырья – известняка и глины, в количестве необходимых для производства клинкера. В последние годы большое количество исследований было посвящено разработке портландцемента из различных отходов, использованию дополнительных цементных материалов, более эффективному использованию портландцементного клинкера и т.д. [12, 13].

Поэтому, постоянный рост спроса на цемент, делает актуальной задачу развития новых производств и выявления новых источников сырьевых материалов для его получения.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для исследования возможности получения портландцементного клинкера применяли следующие сырьевые материалы: в качестве глинистого сырья – отходы переработки диабазовых

горных пород ООО «Фирма «ПКО «КРЫМ» (Лозовской карьер, г. Симферополь); в качестве карбонатного сырья – известняки Крымских месторождений; а также дополнительный источник кремнезема – кварцевый песок Казантипского месторождения.

На предприятии отходы переработки диабазовых горных пород образуются в виде водной суспензии, образующейся в процессе одновременного грохочения и промывки сортовых фракций диабазового щебня на грохотах. Мытые сортовые фракции щебня направляются на склад, а пульпа поступает в расположенный рядом с грохотом отстойник, откуда периодически по мере заполнения отстойника перекачивается в стационарный шламоотстойник. В шламоотстойнике с течением времени происходит естественная фильтрация жидкой фазы и образуется высушенный материал после промывки отсева дробления, представляющий собой крупные куски, имеющие незначительную механическую прочность.

В исследованиях использовали следующие виды диабазовых отходов:

- пульпа после промывки отсева дробления (далее – ПГ);

- высушенный материал после промывки отсева дробления (далее – СГ);

- диабазовая пыль (далее – ДП).

Природные известняки Крымских месторождений применялись 3-х видов:

- первичный отсев дробления (месторождение Ульяновское-3), производитель ООО СК «Град», дисперсный продукт фракцией 0-5 мм со значительным количеством пылевидных частиц размером менее 0,16 мм;

- щебень фракции 5-10 мм (месторождение Ульяновское), производитель ООО «ТД Ульяновские известняки»; пылевидные частицы размером менее 0,16 мм отсутствуют;

- первичный отсев дробления (карьер Ароматное), производитель ООО «Белогорские известняки», представляет собой продукт фракцией 5-20 мм со значительным количеством пылевидных частиц размером менее 0,16 мм.

Исследования включали в себя определение химического, минералогического и гранулометрического составов исходного сырья, расчёт сырьевой смеси, расчет химического и минералогического составов цементного клинкера.

Химический состав проб глинистого, карбонатного и кремнеземистого сырья выполняли методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии на спектрометре рентгенофлуоресцентном энергодисперсионном Epsilon 3XLE, PANanalytical B.V. Фазово-минералогический состав проб исходного сырья определяли на рентгеновском дифрактометре Rigaku «Ultima IV», гранулометрический состав определяли методом лазерной дифракции на лазерном дифракционном анализаторе гранулометрического состава частиц Partica LA-960, HORIBA. Дифференциально-

термический и термогравиметрический анализы проводили на синхронном (ТГА/ДСК/ДТА) анализаторе STA 8000, Perkin Elmer, США с одновременной съёмкой двух кривых: дифференциальной кривой нагревания (ДТА), кривой изменения массы (ТГ), по которым

определяли тепловые эффекты, сопровождающие фазовые превращения и химические реакции.

Результаты химического анализа проб ПГ, СГ и ДП, представленного в виде оксидов элементов, приведен в таблице 1.

**Таблица 1.** Химический состав проб ПГ, СГ и ДП (% мас.)  
**Table 1.** Chemical composition of samples of PG, SG and DP (% wt)

Наименование	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Σ <sub>общ.</sub>
ПГ	45,56	22,14	12,10	10,07	4,87	0,19	2,10	1,25	0,41	1,16	0,08	99,97
СГ	44,86	16,74	15,67	9,65	7,85	0,20	2,73	1,24	0,27	0,64	0,07	99,96
ДП	46,21	16,88	14,29	10,14	6,48	0,19	3,74	1,28	0,21	0,49	0,07	99,98

Фазово-минералогический состав проб глинистого сырья представлен следующими минералами (табл. 2): альбит, минерал из подгруппы плагиоклазов являющихся одними из ряда первичных породообразующих минералов, слагающих структуру природных диабазов; в значимых количествах в пробе присутствует нонтронит – глинистый минерал, листовый силикат из группы монтмориллонита, является одним из широкой группы конечных продуктов химического выветривания первичных породообразующих минералов диабаза, таких как роговая обманка,

биотит; клинохлор – наиболее распространенный минерал, относящийся к группе хлорита, образуется, как правило, в процессе метаморфизма первичных породообразующих минералов диабаза; присутствуют кальцит и кварц; в незначительном количестве содержатся минералы ломонтит и вюстит.

Лазерный анализ размеров частиц проб глинистого сырья (таблица 3) показал, что размер твёрдых частиц в жидкой фазе находится в пределах от 0,2 до 262 мкм.

**Таблица 2.** Минералогический состав проб ПГ, СГ и ДП  
**Table 2.** Mineralogical composition of PG, SG and DP samples (% wt)

№ п/п	Наименование минерала	Формула	Количество в пробе ПГ, % мас.	Количество в пробе СГ, % мас.	Количество в пробе ДП, % мас.
1	Альбит	Na(Al <sub>0,91</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	38,8	43,3	40,8
2	Нонтронит	(Na,Ca) <sub>0,3</sub> Fe <sub>2</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> ·nH <sub>2</sub> O	12,8	12,9	23,7
3	Ломонтит	Ca(Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>12</sub> )·4H <sub>2</sub> O	5,2	16,3 / 9,13	15,1 / 8,46
4	Кальцит	CaCO <sub>3</sub> / CaO	18,8 / 10,53	15,6	11,1
5	Клинохлор	(Mg,Fe,Al) <sub>6</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>	13,7	10,2	8,4
6	Кварц	SiO <sub>2</sub>	10,1	1,7	1,0
7	Вюстит	FeO	0,6	43,3	40,8

**Таблица 3.** Гранулометрический состав проб ПГ, СГ и ДП  
**Table 3.** Granulometric composition of samples of PG, SG and DP

Отстажок, % мас.	Размер частиц, мкм																		
	262	200	133	88	58	39	26	17	11	7	5	3	2	1,5	1	0,7	0,5	0,3	0,2
	Гранулометрический состав пробы ПГ																		
частный	0,1	0,7	2,3	3,9	5,6	7,9	12,3	14,5	10,8	7,8	6,7	6,1	4,1	2,1	1,4	3,2	6,2	3,2	0,6
полный	0,1	0,8	3,2	7,1	12,8	20,7	33,0	47,6	58,3	66,2	72,9	79,0	83,1	85,3	86,7	90,0	96,2	99,4	100
	Гранулометрический состав пробы СГ																		
частный	0,2	0,7	2,1	3,6	5,3	8,0	13,3	16,6	12,6	8,9	7,2	5,9	3,3	1,4	0,9	2,6	4,9	2,1	0,3
полный	0,2	0,9	3,0	6,6	11,9	19,9	33,2	49,8	62,4	71,3	78,5	84,4	87,6	89,1	90,0	92,6	97,6	99,7	100
	Гранулометрический состав пробы ДП																		
частный	0,4	1,9	3,2	4,3	5,9	8,3	16,5	18	15,8	9,6	4,1	2,2	1,9	1,8	1,4	1,0	1,0	1,8	0,8
полный	0,4	2,3	5,5	9,8	15,7	24	40,5	58,4	74,3	83,9	88	90,2	92,1	93,9	95,3	96,3	97,3	99,2	100

Твердая фаза пробы ПГ представлена двумя фракциями: 0,2-1,0 мкм и 1,0-262 мкм с количественным соотношением 15 и 85 % соответственно. Общий средний размер частиц исследуемой пробы составил 24,5 мкм. Твердая фаза пробы СГ представлена двумя фракциями: 0,2-1,0 мкм и 1,0-262 мкм с количественным соотношением 10 и 90 % соответственно. Общий средний размер частиц исследуемой пробы составил 25,0 мкм. Твёрдую фазу пробы ДП можно разделить на три фракции: 0,5-1,5 мкм, 1,5-7,0 мкм и 7,0-344 мкм с количественным соотношением 4, 6 и 90 % соответственно. Общий средний размер частиц исследуемой пробы составил 58,5 мкм.

Анализ гранулометрического состава отходов переработки диабазовых горных пород позволяет оценить их как мелкодисперсные. Содержание частиц крупнее 0,2 мм в пробе ПГ составляет порядка 0,8 % мас., в пробе СГ – 0,9 % мас. и в пробе ДП – 5,5 % мас., что не превышает 10 % мас. согласно [14].

Карбонатное сырьё 3-х видов показало стабильный химический состав (таблица 4), основу которого составляет карбонат кальция (CaO + п.п.п.) в количестве от 87,1 % мас. в отсевах Ароматненского месторождения до 89,3 и 96,5 % мас. в отсевах и щебне Ульяновского месторождения соответственно. Основным примесным элементом является кремний (SiO<sub>2</sub>).

**Таблица 4.** Химический состав проб известняков (% мас.)

**Table 4.** Chemical composition of limestone samples (% wt)

Наименование, месторождение	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	Cl	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	п.п.п.	Σ <sub>общ.</sub>
Отсев, Ульяновское-3	0,996	0,363	0,994	54,09	0,850	0,016	0,005	0,039	0,015	0,132	42,498	99,99
Щебень, Ульяновское	5,411	2,757	0,873	49,97	1,091	0,017	-	0,104	0,118	0,398	39,262	100,0
Отсев, Ароматное	7,455	3,353	0,919	48,80	0,495	0,017	0,006	0,142	0,009	0,454	38,346	99,97

Для уточнения минералогического состава исследуемых проб известняков и определения показателя потерь при прокаливании

дополнительно был проведен дифференциально-термический и термогравиметрический анализы. Результаты анализа представлены в таблице 5.

**Таблица 5.** Содержание CaO по данным термического анализа

**Table 5.** CaO content according to thermal analysis data

Наименование пробы	Потеря массы в диапазоне 750-900 °С, % мас.	Содержание CaCO <sub>3</sub> , % мас.	Содержание CaO, % мас.
Отсев (Ульяновское-3)	42,026	95,51	53,49
Щебень (Ульяновское)	40,692	92,48	51,79
Отсев (Ароматное)	39,593	89,98	50,39

Как видно из таблицы 5 количество CaCO<sub>3</sub>, определённое термическим методом, коррелирует с данными химического анализа (см. таблицу 4) и варьируется в пределах 1,5 %.

Расчёт состава сырьевой смеси для получения клинкера заданного химического и минералогического состава заключается в определении количественных соотношений компонентов входящих в смесь, которых, как правило, бывает от 2 до 4 [15]. Основные компоненты – глинистое и карбонатное сырьё, далее в зависимости от требуемого химического состава клинкера вводят корректирующие добавки – кварцевый песок, пиритные огарки, доменные шлаки и т.д. [16].

Качество портландцементного клинкера определяется следующими характеристиками: химическим составом клинкера, значениями коэффициента насыщения и модулей, содержанием основных клинкерных минералов.

Коэффициент насыщения КН варьируется в пределах от 0,8 до 0,95, силикатный модуль n – от 1,7 до 3,5, глинозёмный модуль p – от 1,0 до 3,0. Величины КН и модулей определяют по следующим расчётным формулам:

$$КН = \frac{CaO - 1,65Al_2O_3 - 0,35Fe_2O_3}{2,8SiO_2}; \quad (1)$$

силикатный модуль:

$$n = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}; \quad (2)$$

глинозёмный модуль:

$$p = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}; \quad (3)$$

где CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – содержание оксидов в клинкере, % мас.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Предварительный расчёт производили для двухкомпонентной смеси, состоящей из глинистого и карбонатного сырья. В соответствии со стандартными методиками расчёта необходимо задаться значениями коэффициентов (1)-(3) в количестве на один меньше числа сырьевых компонентов. Поскольку на начальном этапе смесь двухкомпонентная, то необходимое число коэффициентов равно единице. Как правило, базовой характеристикой является значение коэффициента насыщения – КН. Величина

коэффициента насыщения определяет отношение в клинкере минералов  $C_3S$  и  $C_2S$  (алит и белит), определяющих основные свойства цемента. Из сложившейся производственной практики, для получения нормальных цементов (сумма  $C_3S + C_2S =$  от 70 до 75 %) необходимо, чтобы величина КН находилась в пределах от 0,82 до 0,92. А поскольку фактическое значение КН в полученном клинкере часто несколько ниже расчётного, принимаем значение КН = 0,9 [15].

Результаты расчётов для всех видов глинистого и карбонатного сырья представлены в таблице 6.

**Таблица 6.** Составы и модульные параметры цементных сырьевых смесей на основе исследуемого известнякового и глинистого сырья

**Table 6.** Compositions and modular parameters of cement raw materials mixtures based on the studied limestone and clay raw materials

Составы цементных сырьевых смесей, карбонатный компонент : глинистый компонент		Модульные параметры сырьевых смесей		
сырьё	соотношение, % мас.	КН	n	p
отсев (Ульяновское-3) : ПГ	63,5 : 36,5	0,9	1,270	1,55
щебень (Ульяновское) : ПГ	74,6 : 25,4	0,9	1,383	2,16
отсев (Ароматное) : ПГ	79,5 : 20,5	0,9	1,508	2,40
отсев (Ульяновское-3) : СГ	62 : 38	0,9	1,318	0,97
щебень (Ульяновское) : СГ	73,3 : 26,7	0,9	1,420	1,47
отсев (Ароматное) : СГ	74,8 : 21,6	0,9	1,538	1,71
отсев (Ульяновское-3) : ДП	62,6 : 37,4	0,9	1,403	1,05
щебень (Ульяновское) : ДП	73,9 : 26,1	0,9	1,485	1,60
отсев (Ароматное) : ДП	78,9 : 21,1	0,9	1,598	1,85

Из расчётных данных таблицы 6 следует, что при всех сочетаниях исследуемого сырья и заданном значении КН = 0,9, значение силикатного модуля не соответствует необходимому для него интервалу значений от 1,7 до 3,5. Это объясняется низким содержанием  $SiO_2$  в представленном глинистом сырье (в пределах от 44,86 до 46,21 % мас.) (см. таблицу 1). В природном глинистом сырье содержание  $SiO_2$  может достигать 80 %. При этом, чем меньше силикатный модуль, тем меньше содержание в клинкере основополагающих минералов  $C_3S + C_2S$ . Необходимо отметить, что

глинозёмный модуль для всех сочетаний 2-х компонентной цементной сырьевой смеси находится в интервале допустимых значений (от 1,0 до 3,0).

Таким образом, для корректировки силикатного модуля, использовали добавку в сырьевую смесь третьего компонента с высоким содержанием  $SiO_2$  – кварцевый песок Казантипского месторождения (Республика Крым).

Химический состав кварцевого песка в пересчете на оксиды, установленный при проведении исследований, приведен в таблице 7.

**Таблица 7.** Химический состав кварцевого песка Казантипского месторождения

**Table 7.** Chemical composition of quartz sand from the Kazantip deposit

Песок	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$CaO$	$MgO$	$Na_2O$	$SO_3$	$\Sigma_{общ.}$
Казантипский	96,24	1,92	0,42	0,26	0,097	0,87	0,193	100,0

При проведении расчёта задавались фиксированными значениями КН = 0,9 и n = 2,3, основываясь на данных [15], что такое сочетание является наиболее благоприятным для получения качественного цемента. Результаты расчётов трёхкомпонентных цементных сырьевых смесей приведены в таблице 8.

Как видно из таблицы 8, при заданном исходном сочетании КН и n, глинозёмный модуль

также находится в допустимом интервале (от 1,0 до 3,0). При этом наибольший расход глинистого компонента наблюдается в составах, где в качестве карбонатного компонента используется отсев месторождения Ульяновское-3, характеризующийся максимальным содержанием оксида CaO.

В таблице 9 приведены расчёты химического состава сырьевых смесей и клинкера на основе

отсева известняка Ульяновского-3 месторождения, пульпы после промывки отсева дробления диабазовой горной породы (пробы ПГ, СГ), диабазовой пыли (проба ДП) и кварцевого песка Казантипского месторождения.

**Таблица 8.** Составы и модульные параметры трёхкомпонентных цементных сырьевых смесей на основе исследуемого известнякового и глинистого сырья и кремнезёмистого компонента

**Table 8.** Compositions and model parameters of three-component cement raw materials mixtures based on the studied limestone and clay raw materials and a silica component

Составы цементных сырьевых смесей, карбонатный компонент : глинистый компонент : кремнезёмистый компонент		Модульные параметры сырьевых смесей		
сырьё	соотношение, % мас.	КН	n	p
отсев (Ульяновское-3) : ПГ : Казантипский песок	77,89 : 14,86 : 7,25	0,9	2,3	1,43
щебень (Ульяновское) : ПГ : Казантипский песок	85,55 : 8,56 : 5,89	0,9	2,3	2,42
отсев (Ароматное) : ПГ : Казантипский песок	88,56 : 6,68 : 4,75	0,9	2,3	2,76
отсев (Ульяновское-3) : СГ : Казантипский песок	77,03 : 15,96 : 7,01	0,9	2,3	0,95
щебень (Ульяновское) : СГ : Казантипский песок	85,00 : 9,23 : 5,76	0,9	2,3	1,81
отсев (Ароматное) : СГ : Казантипский песок	88,13 : 7,22 : 4,66	0,9	2,3	2,17
отсев (Ульяновское-3) : ДП : Казантипский песок	76,23 : 18,18 : 5,59	0,9	2,3	1,02
щебень (Ульяновское) : ДП : Казантипский песок	84,95 : 9,61 : 5,44	0,9	2,3	1,90
отсев (Ароматное) : ДП : Казантипский песок	88,08 : 7,52 : 4,41	0,9	2,3	2,26

**Таблица 9.** Химический состав цементных сырьевых смесей и клинкера на основе отсева известняка Ульяновского-3 месторождения и отходов дробления и промывки диабазовой горной породы (пробы ПГ, СГ, ДП)

**Table 9.** Chemical composition of cement raw materials and clinker based on screening of limestone from the Ulyanovsk-3 deposit and waste from crushing and washing of diabase rock (samples of PG, SG, DP)

№ п/п	Материал, количество в составе сырьевой смеси	Содержание, % мас.							
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	п.п.п.	сумма
1	Известняк, 77,89 %	0,776	0,283	0,774	42,13	0,662	0,012	33,25	77,89
	ПГ – 14,86 %	6,770	3,290	1,798	0,159	0,724	0,061	2,058	14,86
	Песок Казантипский, 7,25 %	6,977	0,139	0,030	0,019	0,007	0,014	0,064	7,250
	Сырьевая смесь	14,52	3,710	2,600	42,31	1,390	0,090	35,37	100
	Клинкер, k = 100/(100-п.п.п.) = 1,547	22,47	5,74	4,03	65,46	2,16	0,13		100
2	Известняк, 77,03 %	0,767	0,280	0,766	41,67	0,655	0,012	32,87	77,02
	СГ – 15,96 %	7,160	2,672	2,501	1,540	1,253	0,043	0,779	15,95
	Песок Казантипский, 7,01 %	6,746	0,135	0,029	0,018	0,007	0,014	0,061	7,01
	Сырьевая смесь	14,67	3,09	3,30	43,22	1,91	0,07	33,71	99,97
	Клинкер, k = 100/(100-п.п.п.) = 1,509	22,14	4,66	4,97	65,21	2,89	0,10		99,96
3	Известняк, 76,805	0,765	0,279	0,763	41,54	0,65	0,012	32,79	76,799
	ДП – 16,512	7,630	2,787	2,359	1,674	1,070	0,035	0,820	16,375
	Песок Казантипский, 6,684	6,433	0,128	0,030	0,020	0,006	0,012	0,072	7,701
	Сырьевая смесь	14,83	3,194	3,145	43,23	1,730	0,059	33,63	100,00
	Клинкер, k = 100/(100-п.п.п.) = 1,507	22,35	4,75	4,74	65,15	2,61	0,09	-	99,8

Таким образом, расчётные составы цементных сырьевых смесей с использованием отходов, образующихся при переработке горных пород

ООО «Фирма «Производственно-коммерческая организация «Крым» (карьер Лозовое), в качестве глинистого компонента, известняков Ульяновского

месторождения в качестве карбонатного компонента и кварцевого песка Казантипского месторождения теоретически соответствуют требованиям, предъявляемым к сырьевым цементным смесям по значениям коэффициента насыщения, силикатного и глинозёмного модулей.

Основываясь на расчётных значениях химического состава клинкера, возможно определить расчётный минералогический состав клинкера. Для этого необходимо произвести пересчёт химического состава клинкера при условии, что сумма основных оксидов, составляющих химический состав  $CaO (C) + Al_2O_3 (A) + Fe_2O_3 (F) + SiO_2 (S) = 100\%$ . Пересчётный коэффициент  $k_1$  для приведения

химического состава к основным оксидам определяется по формуле:

$$k_1 = 100 / [100 - (MgO + SO_3)]. \quad (4)$$

Содержание минералов в клинкере определяется по формулам:

$$\begin{aligned} C_3S &= 4,07C - 7,6S - 6,72A - 1,42F; \\ C_2S &= 8,6S + 5,07A + 1,07F - 3,07C; \\ C_3A &= 2,65A - 1,70F; \\ C_4AF &= 3,04F. \end{aligned} \quad (5)$$

Предполагаемые минералогические составы цементного клинкера сведены в таблице 10.

**Таблица 10.** Расчётное содержание минералов в цементном клинкере на основе отсева известняка Ульяновского-3 месторождения и отходов дробления и промывки диабазовой горной породы (пробы ПГ, СГ, ДП)

**Table 10.** Calculated mineral content in cement clinker based on screening of limestone from the Ulyanovsk-3 deposit and waste from crushing and washing of diabase rock (samples of PG, SG, DP)

№ п/п	Состав цементной сырьевой смеси		Содержание минералов, % мас.			
	сырьё	соотношение, % мас.	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
1	известняк : ПГ : Казантипский песок	77,89 : 14,86 : 7,25	52,54	26,31	8,57	12,53
2	известняк : СГ : Казантипский песок	77,03 : 15,96 : 7,01	60,63	19,70	4,00	15,58
3	Известняк : ДП : Казантипский песок	76,80 : 16,51 : 6,68	58,21	18,02	4,65	14,80

Таким образом, по расчётным данным минералогического состава цементный клинкер, получаемый из разработанных и предлагаемых составов цементных сырьевых смесей на основе отходов промывки диабазовых отсевов на карьере Лозовое, отсевов известняка месторождения Ульяновское-3 и корректирующей высококремнезёмистой добавки Казантипского песка, в соответствии с классификацией клинкера в зависимости от содержания основных минералов (по С.Д. Окоорокову) [15] соответствует нормальному (по содержанию C<sub>3</sub>S и C<sub>3</sub>A).

Для определения гидравлической активности расчётных цементных сырьевых смесей, в лабораторных условиях был проведен обжиг состава №3 на основе глиняного компонента ДП

(см. табл. 10). Обжиг проводили при температуре 1450°C. Полученные образцы портландцементного клинкера подвергали совместно помолу в лабораторной шаровой мельнице с добавкой природного гипса в количестве 2,0 % мас. Размер частиц полученного цемента находился в пределах от 4 до 70 мкм, при среднем размере частиц 17 мкм. Из полученного таким образом цемента готовили цементное тесто при НГ=0,25 и формовали образцы кубики с ребром 20 мм. По истечении 24 часов после процесса формования, образцы извлекались из формы и помещались в воду, где выдерживались 28 суток с периодическим определением прочности при сжатии. Результаты определения прочности при сжатии представлены в таблице 11.

**Таблица 11.** Прочность при сжатии образцов кубов, полученных из цемента на основе пробы ДП, обожженной при 1450°C в зависимости от времени твердения

**Table 11.** Compressive strength of cube samples obtained from cement based on DP sample fired at 1450°C depending on the curing time

Наименование	Твердение в воде		
	R <sub>сж</sub> , МПа (2 сут)	R <sub>сж</sub> , МПа (7 сут)	R <sub>сж</sub> , МПа (28 сут)
Синтезируемый цементный клинкер	43,4	58,5	86,0

Данные таблицы 11 показывают, что в образцах на основе полученного цемента протекает процесс гидратации, сопровождающийся ростом прочности. В результате испытаний затвердевших образцов-кубиков в возрасте 2, 7 и 28 сут. была получена прочность при сжатии от 43,4 до 86,0 МПа. При

этом, количество химически связанной воды, характеризующей степень гидратации цемента, в образцах в возрасте 28 сут. составило 15,9 % мас. Таким образом, представленные опытные данные подтверждают возможность получения портландцементного клинкера из сырьевых

цементных смесей, в качестве глинистого компонента в которых использованы отходы камнедобычи диабазовых горных пород.

## ВЫВОДЫ

В результате проведенной работы исследованы химический и фазово-минералогический составы отходов переработки диабазовых горных пород ООО «Фирма «Производственно-коммерческая организация «Крым» (карьер Лозовое) и проведена оценка возможности использования их в качестве глинистого компонента для производства цементного клинкера. Установлено, что основу их химического состава составляют  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , при этом содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  удовлетворяет требованиям, предъявляемым к цементному сырью, а количества  $\text{SiO}_2$  (в пределах от 44,8 до 46,2 % мас.) недостаточно для использования их для получения цементного клинкера без корректирующей высококремнистой добавки. Определено, что химический и минералогический составы карбонатного сырья состоят в основном из  $\text{CaO}$  и кальцита соответственно, по содержанию  $\text{CaO}$  и примесей вредных оксидов ( $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Cl}$ ) соответствуют требованиям, предъявляемым к карбонатному цементному сырью.

Выполнен расчёт двухкомпонентных сырьевых смесей для получения портландцементного клинкера и установлено, что необходима их корректировка из-за несоответствия значений силикатного модуля. В качестве корректирующей добавки использовали кварцевый песок Казантипского месторождения.

Расчёт трёхкомпонентных сырьевых смесей, состоящих из отходов промывки диабазовых горных пород, в качестве глинистого компонента, известняка Ульяновского месторождения в качестве карбонатного компонента и кварцевого песка Казантипского месторождения, показал, что данные смеси по значениям коэффициента насыщения, силикатного и глинозёмного модулей теоретически соответствуют требованиям, предъявляемым к сырьевым цементным смесям.

Проведен обжиг расчётной цементной сырьевой смеси и получены образцы цементного клинкера при температуре  $1450^\circ\text{C}$  с последующим помолом с добавкой природного гипса. В результате испытаний затвердевших образцов-кубиков в возрасте 2, 7 и 28 сут. была получена прочность при сжатии от 43,4 до 86,0 МПа. При этом, количество химически связанной воды, характеризующей степень гидратации цемента, составило 15,9 % мас., для образцов испытанных в возрасте 28 суток.

Экспериментально доказана возможность получения портландцементного клинкера из сырьевых цементных смесей, в качестве глинистого компонента в которых использованы отходы камнедобычи диабазовых горных пород.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. United Nations. World population prospects – population division – United Nations. – [https://population.un.org/wpp/\(2022\)](https://population.un.org/wpp/(2022)).
2. IEA, 2018. IEA and WBCSD: technology roadmap: low carbon transition in the cement industry. – <https://www.wbcsd.org/wp-content/uploads/2023/12/TechnologyRoadmapLowCarbonTransitionintheCementIndustry.pdf>.
3. W. Xing, V.W. Tam, K.N. Le, J.L. Hao, J. Wang. Life cycle assessment of sustainable concrete with recycled aggregate and supplementary cementitious materials // Resources, Conservation and Recycling. – Vol. 193. – 2023. – Article 106947.
4. Olsson J. A., Miller S. A., Kneifel J. D. A review of current practice for life cycle assessment of cement and concrete // Resources, Conservation and Recycling. – Vol. 206. – 2024. – 107619. – <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107619>.
5. Aïtcin P.-C. Cements of yesterday and today: Concrete of tomorrow // Cement and Concrete Research. – 2000. – Vol. 30. – Issue 9. – Pp. 1349-1359.
6. Sui H., Hou P., Liu Y., Sagoe-Crentsil K., Basquiroto de Souza F., Duan, W. Limestone calcined clay cement: Mechanical properties, crystallography, and microstructure development // Journal of Sustainable Cement-Based Materials. – 2023. – Vol. 12. – Pp. 427–440.
7. Huang G., Liu Y., Benn T., Luo L., Xie T., Zhuge Y. A Comprehensive Framework for the Design and Optimisation of Limestone-Calcined Clay Cement: Integrating Mechanical, Environmental, and Financial Performance // Journal of Composites Science. – 2024. – Vol. 8(12). – P. 524. – <https://doi.org/10.3390/jcs8120524>.
8. Update on China, April 2024. – <https://www.globalcement.com/news/item/17192-update-on-china-april-2024>.
9. Mohamad N., Muthusamy K., Embong R., Kusbiantoro A., Hashim M.H. Environmental impact of cement production and solutions: A review // Materials Today: Proceedings. – 2022. – Vol. 48. – Part. 4. – Pp. 741-746.
10. Цементное обозрение. Декабрь 2023 года. Союзцемент. – <https://soyuzcem.ru/analytics/>.
11. Scrivener K.L., John V.M., Gartner E.M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low- $\text{CO}_2$  cement-based materials industry // Cement and Concrete Research. – 2018. – Vol. 114. – Pp. 2-26.
12. Bhagath Singh G.V.P., Subramaniam Kolluru V.L. Production and characterization of low-energy Portland composite cement from post-industrial waste // Journal of Cleaner Production. – 2019. – Vol. 239. – 118024. – <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118024>.
13. Imbabi M.S., Carrigan C., McKenna S. Trends and developments in green cement and concrete technology // International Journal of Sustainable Built Environment. – Vol. 1. – Issue 2. – 2012 – Pp. 194-216 – <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2013.05.001>.

14. Дворкин Л.И., Строительные минеральные вяжущие материалы / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – М.: Инфра-Инженерия, 2011. – 544 с.

15. Бутт Ю.М. Технология вяжущих веществ / Бутт Ю.М.; Окорок С.Д.; Сычев М.М. и др. // Изд-во: М.: Высшая школа, 1965. – 616 с.

16. Справочник по производству цемента. Под ред. И.И. Холина. – М.: 1963. – 833 с.

## REFERENCES

1. United Nations. World population prospects – population division – United Nations. – [https://population.un.org/wpp/\(2022\)](https://population.un.org/wpp/(2022)).

2. IEA, 2018. IEA and WBCSD: technology roadmap: low carbon transition in the cement industry. – <https://www.wbcsd.org/wp-content/uploads/2023/12/TechnologyRoadmapLowCarbonTransitionintheCementIndustry.pdf>.

3. W. Xing, V.W. Tam, K.N. Le, J.L. Hao, J. Wang. Life cycle assessment of sustainable concrete with recycled aggregate and supplementary cementitious materials // *Resources, Conservation and Recycling*. – Vol. 193. – 2023. – Article 106947.

4. Olsson J. A., Miller S. A., Kneifel J. D. A review of current practice for life cycle assessment of cement and concrete // *Resources, Conservation and Recycling*. – Vol. 206. – 2024. – 107619. – <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107619>.

5. Aitcin P.-C. Cements of yesterday and today: Concrete of tomorrow // *Cement and Concrete Research*. – 2000. – Vol. 30. – Issue 9. – Pp. 1349-1359.

6. Sui H., Hou P., Liu Y., Sagoe-Crentsil K., Basquiroto de Souza F., Duan, W. Limestone calcined clay cement: Mechanical properties, crystallography, and microstructure development // *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*. – 2023. – Vol. 12. – Pp. 427–440.

7. Huang G., Liu Y., Benn T., Luo L., Xie T., Zhuge Y. A Comprehensive Framework for the Design

and Optimisation of Limestone-Calcined Clay Cement: Integrating Mechanical, Environmental, and Financial Performance // *Journal of Composites Science*. – 2024. – Vol. 8(12). – P. 524. – <https://doi.org/10.3390/jcs8120524>.

8. Update on China, April 2024. – <https://www.globalcement.com/news/item/17192-update-on-china-april-2024>.

9. Mohamad N., Muthusamy K., Embong R., Kusbiantoro A., Hashim M.H. Environmental impact of cement production and solutions: A review // *Materials Today: Proceedings*. – 2022. – Vol. 48. – Part. 4. – Pp. 741-746.

10. Tsementnoe obozrenie. Dekabr 2023 goda. Soyuztsement. – <https://soyuzcem.ru/analytics/>.

11. Scrivener K.L., John V.M., Gartner E.M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO<sub>2</sub> cement-based materials industry // *Cement and Concrete Research*. – 2018. – Vol. 114. – Pp. 2-26.

12. Bhagath Singh G.V.P., Subramaniam Kolluru V.L. Production and characterization of low-energy Portland composite cement from post-industrial waste // *Journal of Cleaner Production*. – 2019. – Vol. 239. – 118024. – <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118024>.

13. Imbabi M.S., Carrigan C., McKenna S. Trends and developments in green cement and concrete technology // *International Journal of Sustainable Built Environment*. – Vol. 1. – Issue 2. – 2012 – Pp. 194-216 – <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2013.05.001>.

14. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. Stroitelnye mineralnye vyazhushchie materialy. – Moskva: Infra-Inzheneriya, 2011. – 544 p.

15. Butt Yu.M. Tekhnologiya vyazhushchikh veshchestv / Butt Yu.M.; Okorokov S.D.; Sychev M.M. i dr. – М.: Vysshaya shkola, 1965 g. – 616 p.

16. Spravochnik po proizvodstvu tsementa. Pod red. I.I. Kholina. – М.: 1963. – 833 p.

## DEVELOPMENT OF RAW MIXTURE COMPOSITIONS FOR PRODUCING PORTLAND CEMENT CLINKER BASED ON WASTE FROM DIABASE ROCK QUARRYING

Lyubomirskiy<sup>1</sup> N.V., Fedorkin<sup>2</sup> S.I., Bakhtin<sup>3</sup> A.S., Bakhtina<sup>4</sup> T.A., Chunikhin<sup>5</sup> S.V.

<sup>1-4</sup>Academy of Construction and Architecture of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Kiyevskaya St., 181,

<sup>5</sup>Limited liability company "Production and commercial organization "CRIMEA", Simferopol, st. Borodina, 14 "A",

e-mail: <sup>1</sup>niklub.ua@gmail.com, <sup>2</sup>kfu.fedorkin@mail.ru, <sup>3</sup>aleserba@gmail.com, <sup>4</sup>t.bakhtina83@gmail.com,

<sup>5</sup>karjerlozovoe@yandex.ru

**Abstract:** this article is devoted to the development of compositions of raw materials mixtures for the production of Portland cement clinker based on waste from the extraction of diabase rocks, which are a by-product in the production of non-metallic building materials from natural diabase stone.

**Subject of the study:** the possibility of using waste from washing diabase rocks as clay raw materials in mixtures for the production of Portland cement clinker.

**Materials and methods:** several groups of raw materials were used as objects of research: as clay raw materials – waste from washing diabase rocks formed at an enterprise for the production of non-metallic building materials; as carbonate raw materials – limestones from Crimean deposits; corrective additive - quartz sand from the Kazantip deposit. The raw materials were studied using modern methods of studying chemical and phase-mineralogical composition, and granulometry. Using standard methods for calculating the composition of the raw material mixture for the production of Portland cement clinker, the calculation was performed and the compositions were adjusted.

**Results:** the calculation of two-component mixtures consisting of clay and carbonate raw materials with a given saturation coefficient of 0.9 showed that the values of the silicate modulus do not meet the required limits. For compliance, it is necessary to introduce a corrective silica additive, which was selected as quartz sand from the Kazantip deposit with a SiO<sub>2</sub> content of 96.24%. The compositions of three-component mixtures are calculated, for which the values of the saturation coefficient and modules correspond to the required intervals.

**Conclusions:** it has been established that raw material mixtures consisting of waste from washing diabase rocks as a clay component, limestone from the Ulyanovsk deposit as a carbonate component, and quartz sand from the Kazantip deposit theoretically meet the requirements for raw cement mixtures in terms of saturation coefficients, silicate and alumina modules.

**Key words:** waste from the processing of diabase rocks; Portland cement clinker; saturation coefficient; silicate modulus.

## Раздел 3. Инженерное обеспечение

УДК 628.8, 004.942

### МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ ПРИ АНАЛИЗЕ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОКЛИМАТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Ангелюк И.П.<sup>1</sup>, Зайцев О.Н.<sup>2</sup>, Федюшко Ю.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского. Институт «Академия строительства и архитектуры»  
295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181.

<sup>2</sup>Юго-Западный государственный университет им. И.И. Ишугина, ул. 50 лет Октября, 94, Курск, 305040, Россия  
E-mail: <sup>1</sup> iliya.angeluck@yandex.ru; <sup>2</sup> zon071941@mail.ru, <sup>1</sup> fedushko26@rambler.ru

**Аннотация.** Статья является первой из серии по определению методологии применения численного моделирования при прогнозировании параметров микроклимата. В данной статье рассмотрены методы и материалы для проведения исследований и приведены результаты сравнения натурального эксперимента с результатами расчета, полученных численным моделированием с применением k-ε модели турбулентного течения в условиях совокупного воздействия инженерных систем на формирование микроклимата.

**Предмет исследования:** параметры микроклимата, их сходимость при натурном эксперименте и применении k-ε модели турбулентного течения.

**Материалы и методы:** натурный эксперимент проводился в реальных условиях эксплуатации учебной аудитории вуза с помощью сертифицированного оборудования, оценка моделей турбулентности проводилась с помощью численного моделирования в программном комплексе FlowSimulation SolidWorks.

**Результаты:** получены таблицы со значениями скорости и температуры воздуха в характерных зонах аудитории экспериментальным путем и методом численного моделирования.

**Выводы:** выявлена значительная невязка результатов натурального эксперимента и численного моделирования по k-ε модели турбулентного течения для скорости движения воздуха в условиях совокупного воздействия инженерных систем на формирование микроклимата.

**Ключевые слова:** микроклимат, эксперимент, модели турбулентности, сходимость.

### ВВЕДЕНИЕ

Возрастающие требования к скорости вывода проектной документации по системам, обеспечивающим создание и поддержание микроклимата в помещениях, ставят вопрос о качестве определения этих параметров в сжатые сроки. Все чаще опытные проектировщики обращают свое внимание на методы численного моделирования для их определения в сложных условиях.

Данные методы, как известно, основаны на расчёте методом конечных элементов (или объемов) уравнения Навье-Стокса с помощью различных моделей турбулентности, которые получены, чтобы наиболее удачно описывать некоторый набор частных случаев течения жидкостей и газов.

При расчете инженер (или научный сотрудник) выбирает одну модель турбулентности и результаты расчёта, после некоторого анализа, принимает за истину, используя их как основу для подбора параметров или расположения инженерного оборудования.

Однако, становится вопрос на сколько результаты численного моделирования, проведенного по различным моделям турбулентности для одинаковых условий, совпадают с настоящими параметрами

микроклимата, полученными в ходе натурального эксперимента. Насколько точно различные модели турбулентности прогнозируют параметры микроклимата при сложном взаимном влиянии процессов его формирования системами и факторами – отопления, вентиляции или кондиционирования, холодной или теплой поверхности стен, поверхности технологического оборудования, солнечного излучения, людей, бытового оборудования.

Этой статьей авторы начинают серию публикаций, посвященных решению озвученных вопросов. В данной работе будут обозначены методы и материалы для проведения исследований и приведены результаты первого сравнения результатов натурального эксперимента с результатами расчета по наиболее часто применяемой модели турбулентного течения – k-ε.

Конечная цель – определение методологии применения численного моделирования при прогнозировании параметров микроклимата в условиях одновременного влияния факторов на его формирование.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Научных работ отечественных и зарубежных авторов, посвященных вопросам численного моделирования параметров микроклимата

достаточно много, но основная их масса не ставит вопрос об оценке правильности моделирования, а, скорее, пользуется таким методом для подкрепления каких-либо инженерных решений [1-4].

Однако есть ряд работ, где авторы уделяют внимание сравнению результатов численного моделирования и натурального эксперимента [5-7]. Также, что важно, есть работы, посвященные вопросу системного применения метода численного моделирования в сфере ОВК.

Так в работе Цинаевых [8] приводится материал по интеграции результатов численного моделирования с технологией управления «умный дом» для учета параметров микроклимата. Для приведенных условий авторам удалось добиться сходимости результатов определения температур в 1,2 % от экспериментальных данных.

В статье Абуовой Г.Б. и др. [9] ставится вопрос о определении системного подхода к управлению микроклиматом в здании при эксплуатации систем ОВК с точки зрения автоматизации этого процесса, рассматривая метод численного моделирования как метод прогнозирования по модели «белого ящика», говоря о нем, как о ресурсоемком и, в текущих условиях, не точном методе.

В работе Vieira Zezzo [10] рассматривается вопрос интеграции устройств «интернета вещей» в процесс численного моделирования параметров микроклимата, приведены практические рекомендации.

Статья Дацюк Т.А. [11] посвящена новой технологии проектирования систем обеспечения микроклимата зданий, основанной на физико-математическом моделировании. Автор предлагает комбинировать численное моделирование и физический-модельный эксперимент для получения более точных прогнозов по параметрам микроклимата.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Оценка сходимости результатов проводилась для настоящих условий эксплуатации аудитории вуза, где авторы статьи приводят занятия со студентами. Исследования проводились в различное время суток и различные периоды года, но оценка сходимости всегда осуществлялась для результатов эксперимента и численного моделирования при одинаковых условиях.

Основными факторами, влияющими на формирование микроклимата в помещении (в т.ч., формируемые за счет систем обеспечения микроклимата), являются:

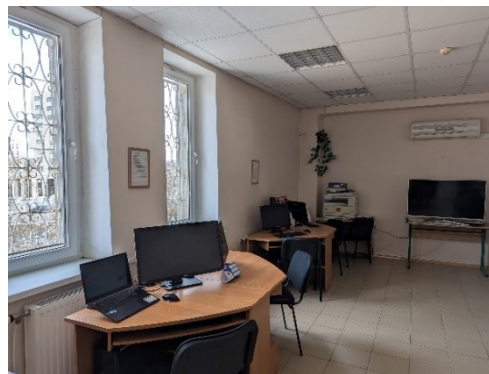
- температуры поверхности окон и наружных стен;
- температура отопительного прибора;
- интенсивность солнечного излучения;
- температура воздуха, циркулирующего через внутренний блок кондиционера (режим нагрева);

- скорость воздуха, формируемая, конвективными потоками от отопительного прибора и потоками из внутреннего блока кондиционера;

- теплоисточники в виде стационарного компьютера и ноутбука;

- тепlopоступление от людей.

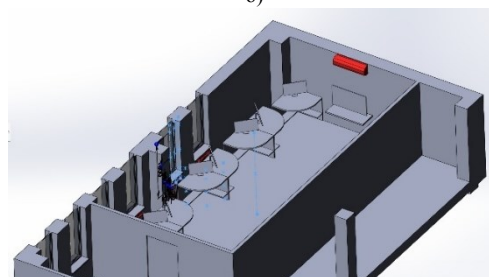
Ниже, на рисунке 1, приведены фотографии и модель исследуемого помещения с системами обеспечения микроклимата.



а)



б)



в)

**Рис. 1.** Аудитория для оценивания: а, б – вид на рабочее место, радиаторы и кондиционер; в – модель аудитории

**Fig. 1.** Audience for evaluation: a, b – view of the workspace, radiators, and air conditioner; c – model of the audience.

Для оценки сходимости выбраны две принципиальные зоны формирования микроклимата:

1. Вертикальная плоскость, проведенная через центр радиатора параллельно поверхности окна, под которым он стоит. В данной плоскости на

формирование параметров микроклимата будет влиять следующие факторы:

- восходящий конвективный поток воздуха от радиатора;
- настилающийся поток охлажденного воздуха от остекления оконного проема;
- потоки нагретого воздуха от внутреннего блока кондиционера.

Результаты в этой плоскости интересны именно принципиальным взаимодействием озвученных факторов, которые по отдельности хорошо описываются различными моделями турбулентности.

2. Объем пространства аудитории, в котором расположена рабочая зона человека. Тут основными факторами являются:

- потоки нагретого воздуха от внутреннего блока кондиционера;
- конвективный поток воздуха от радиатора;
- радиационная температура в следствии влияния стен, остекления и радиатора.

Данная зона является сутью необходимости формирования микроклимата – комфорт пребывания людей. Оценка сходимости в данной зоне показывает не только сходимость результатов эксперимент-вычисление, но адекватность применения полученных численным моделированием результатов для принятия их в качестве диктующих условий комфортности.

Измерения для зон проводили в точках, показанных на рисунках 2 и 3.

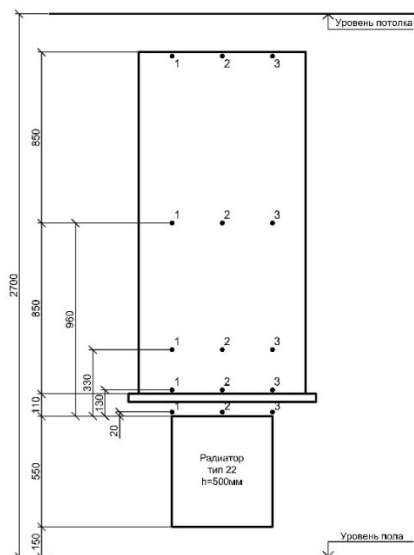


Рис. 2. Точки снятия замеров по 1-й зоне

Fig. 2. Measurement points for zone 1.

Численное моделирование параметров микроклимата проводим с помощью математического аппарата программных продуктов, которые способны производить расчет с применением различных моделей турбулентности – FlowSimulation SolidWorks и ANSYS Fluent.

Для определения адекватности получаемых результатов численного моделирования на начальном этапе, применен метод сеточной

сходимости, важность которого хорошо описана в работах А.М. Зиганшина и К.И. Логачева [12]. В качестве диктующего параметра приняты температура и скорость воздуха в геометрическом центре помещения (температура – 24,8°C, скорость – 0,11 м/с), полученные в результате натурального эксперимента.

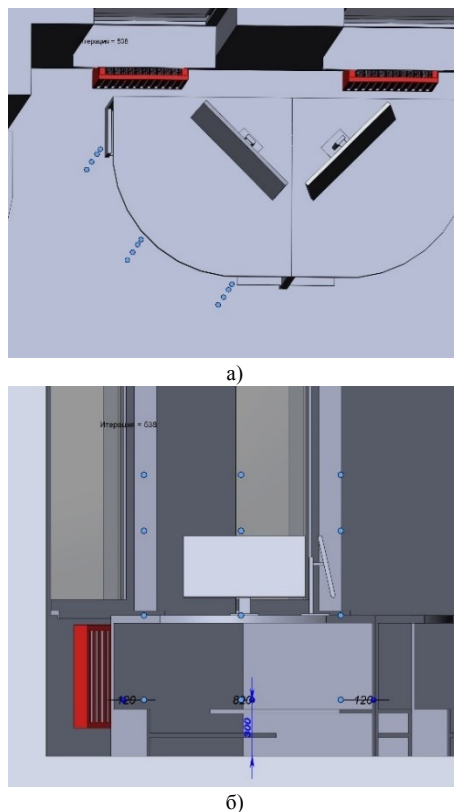


Рис. 3. Точки снятия замеров по 2-й зоне: а – вид сверху; б – вид спереди на рабочее место.

Fig. 3. Measurement points for zone 2: а – top view; б – front view of the workspace.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Натурный эксперимент для оценки сходимости с результатами расчета по k-ε модели турбулентного течения наиболее проводился во второй половине пасмурного дня, поэтому влияние солнечной радиации не учитывалось. Измерения температуры и скорости воздуха проводились с помощью сертифицированного высокоточного оборудования – термоанемометра с зондом с обогреваемой струной Testo 425 (рисунок 4).

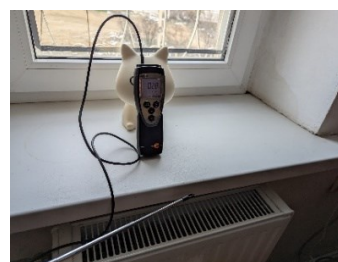


Рис. 2. Натурный замер в точке 2 по центру радиатора

Fig. 2. On-site measurement at point 2 in the center of the radiator.

В результате чего получены данные, которые сведены в таблицы 1 и 2.

Можно видеть, что в первой зоне (над радиатором) температура и скорость с ростом высоты уменьшаются, что говорит о «затухании» конвекционного потока от радиатора.

По второй зоне, напротив, с ростом высоты (ближе к высоте рабочей зоны) температура и скорость повышаются.

**Таблица 1.** Результаты натурного эксперимента по зоне 1

**Table 1.** Results of the Field Experiment for zone 1

Высота от радиатора, м	Левый край радиатора		Центр радиатора		Правый край радиатора	
	t, °C	v, м/с	t, °C	v, м/с	t, °C	v, м/с
0	36	0,21	40,3	0,19	35,9	0,25
0,1	33,8	0,12	33,6	0,05	32,3	0,16
0,3	26,6	0,07	25,6	0,07	23,8	0,1
0,9	25	0,06	25,1	0,1	24,9	0,06
1,8	25,3	0,05	25,4	0,09	25,5	0,05

**Таблица 2.** Результаты натурного эксперимента по зоне 2

**Table 2.** Results of the Field Experiment for zone 2

Высота от пола, м	Левый край зоны		Центр зоны		Правый край зоны	
	t, °C	v, м/с	t, °C	v, м/с	t, °C	v, м/с
0,3	23,8	0,05	23,7	0,02	23,8	0,25
0,9	24,2	0,08	24,3	0,1	24,7	0,05
1,2	24,8	0,1	24,5	0,15	24,9	0,35
1,5	25	0,11	25	0,33	24,7	0,18

Расчет по k-ε модели турбулентного течения проводился при стандартных настройках солвера FlowSimulation SolidWorks. Было проведено одиннадцать серий расчетов для определения сеточной сходимости, в результате чего удалось достичь полной сходимости по скорости воздуха (0,11 м/с) и на 0,05 °C отстающего показателя по

температуре – 24,75 °C против 24,8 °C в натурном эксперименте.

В результате моделирования получены точечные параметры температуры и скорости воздуха, в точках, аналогичных измерениям натурного эксперимента, согласно рисунков 2 и 3. Результаты сведены в таблицы 3 и 4.

**Таблица 3.** Результаты численного моделирования по k-ε модели в зоне 1

**Table 3.** Results of Numerical Modeling Using the k-ε Model in zone 1

Высота от радиатора, м	Левый край радиатора		Центр радиатора		Правый край радиатора	
	t, °C	v, м/с	t, °C	v, м/с	t, °C	v, м/с
0	36,99	0,04	42,1	0,001	35,35	0,043
0,1	24,11	0,08	24,17	0,07	23,92	0,093
0,3	24,58	0,05	24,64	0,039	24,34	0,054
0,9	24,72	0,05	24,78	0,057	24,75	0,059
1,8	24,66	0,07	24,57	0,077	24,32	0,083

**Таблица 4.** Результаты численного моделирования по k-ε модели в зоне 2

**Table 4.** Results of Numerical Modeling Using the k-ε Model in zone 2

Высота от пола, м	Левый край зоны		Центр зоны		Правый край зоны	
	t, °C	v, м/с	t, °C	v, м/с	t, °C	v, м/с
0,3	24,77	0,059	24,84	0,095	25,25	0,4
0,9	24,58	0,097	24,82	0,081	24,67	0,17
1,2	24,68	0,037	24,69	0,074	24,85	0,15
1,5	24,69	0,036	24,72	0,042	25,04	0,18

Оценку сходимости результатов натурального эксперимента и численного моделирования было принято решение провести посредством процентной

невязки. Результаты оценки приведены в таблицах 5 и 6.

**Таблица 5.** Сходимость результатов по зоне 1

**Table 5.** Convergence of Results for zone 1

Высота от радиатора, м	Левый край радиатора		Центр радиатора		Правый край радиатора	
	t, °C	v, м/с	t, °C	v, м/с	t, °C	v, м/с
0	-2,75%	80,95%	-4,47%	99,47%	1,53%	82,80%
0,1	28,67%	33,33%	28,07%	-40,00%	25,94%	41,88%
0,3	7,59%	28,57%	3,75%	44,29%	-2,27%	46,00%
0,9	1,12%	16,67%	1,27%	43,00%	0,60%	1,67%
1,8	2,53%	-40,00%	3,27%	14,44%	4,63%	-66,00%

**Таблица 6.** Сходимость результатов по зоне 2

**Table 6.** Convergence of Results for zone 2

Высота от пола, м	Левый край зоны		Центр зоны		Правый край зоны	
	t, °C	v, м/с	t, °C	v, м/с	t, °C	v, м/с
0,3	-4,08%	-18,00%	-4,81%	-375,00%	-6,09%	-60,00%
0,9	-1,57%	-21,25%	-2,14%	19,00%	0,12%	-240,00%
1,2	0,48%	63,00%	-0,78%	50,67%	0,20%	57,14%
1,5	1,24%	67,27%	1,12%	87,27%	-1,38%	0,00%

Анализируя результаты по температуре, можно видеть, что сходимость удовлетворительная, кроме некоторых точек измерения. Однако, по скорости воздуха наблюдается значительная невязка, в среднем 60 %, при этом максимальное значение невязки – 375 %. В случае с зоной 1, невязка уменьшается с удалением от радиатора, что объясняется спецификой k-е модели турбулентного течения.

Учитывая значительную невязку по скорости воздуха в помещении, невозможно уверенно принимать результаты численного моделирования и по температуре для инженерных расчетов и научного обоснования.

Таким образом, можно с уверенностью сказать, что для прогнозирования формирования микроклимата в настоящих условиях при одновременном влиянии инженерных систем и других факторов, невозможно полагаться на результаты, полученные исключительно с помощью k-е модели турбулентного течения.

### ВЫВОДЫ

В результате проведенного натурального эксперимента по определению температуры и скорости воздуха настоящих условий эксплуатации аудитории были получены референтные данные и с их помощью проведена верификация результатов численного моделирования данных прогнозируемых параметров на модели аудитории. Моделирование проводилось с применением k-е модели турбулентного течения.

Оценка сходимости результатов показала значительную невязку по скорости воздуха в помещении и невозможность полагаться на результаты, полученные исключительно с помощью k-е модели.

Для достижения основной цели данной серии публикаций будут осуществлены исследования с применением моделирования на основе многих других моделей турбулентности в условиях совокупного влияния систем создания и поддержания микроклимата и иных факторов на него влияющих.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моделирование притока тепла от солнечной радиации через решеточные смарт-окна / Р.С. Закируллин, И. А. Оденбах, Н. М. Гунько [и др.] // Academia. Архитектура и строительство. – 2023. – № 3. – С. 132-139. – DOI 10.22337/2077-9038-2023-3-132-139. – EDN UOZBKI.
2. Тимин, В. С. Локально-зонное низкотемпературное отопление пленочно лучистыми электронагревателями / В. С. Тимин, И. П. Ангелюк // Строительство и техногенная безопасность. – 2019. – № 14(66). – С. 139-144. – EDN SQFUZV.
3. Уляшева, В. М. Численное моделирование вентиляционных процессов в помещениях / В.М. Уляшева, Т. А. Дацюк, Е. А. Аншукова // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды : Материалы XXII Международной научной конференции, Самарканд, 23–27 сентября 2024 года.

– Волгоград: Волгоградский государственный медицинский университет, 2024. – С. 75-80. – EDN BFFSGK.

4. Zaycev O.N., Angeluck I.P., Toporen S.S. Experimental study of the aerodynamic resistance of a conical-spiral heat exchanger of the outgoing flue gases // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – №698 – 055033.

5. Информационная модель программного комплекса для оптимизации и управления системами вентиляции на основе прямого газодинамического моделирования / М. А. Бутенко, Д. В. Бурнос, С. А. Хоперсков [и др.] // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 10: Инновационная деятельность. – 2012. – № 6. – С. 31-37. – EDN PEUELZ.

6. Лучшее эксплуатационных характеристик вентиляционных систем совершенствованием их конструктивных элементов / В. Н. Андрийчук, В.И. Соколов, Н. Д. Андрийчук, Т. Е. Шевцова // Строитель Донбасса. – 2023. – № 1(22). – С. 24-28. – EDN HJUPJI.

7. Уваров, В. А. Моделирование системы воздухообмена храма Александра Невского д. Кожевенное / В. А. Уваров, А. Г. Кочев // XIII Всероссийский Фестиваль науки : Сборник тезисов, Нижний Новгород, 24–26 октября 2023 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. – С. 233-234. – EDN IUPAYV.

8. Ястребов А.В. Рекуперация воздуха: виды, принципы работы, функции / А.В.Ястребов, В.Н.Зекин // Международный научный журнал «ВЕСТНИК НАУКИ» №4 (49) Т.1 Апрель 2022 г.

9. Абуова, Г. Б. Модели управления микроклиматом в помещении / Г. Б. Абуова, Е.П. Кравченкова, И. Ю. Петрова // Перспективы развития строительного комплекса : Материалы XIV Международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов, Астрахань, 22–23 октября 2020 года. Том 14. – Астрахань: Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. – С. 536-542. – EDN HEEM LZ.

10. Vieira Zezzo L., Pereira Coltri P., Dubreuil V. Microscale models and urban heat island studies: A systematic review //Environmental Monitoring and Assessment. – 2023. – Т. 195. – №. 11. – С. 1284.

11. Дацюк Т.А. Новая технология проектирования систем обеспечения микроклимата зданий / Т. А. Дацюк, В. Ф. Васильев, В.В. Дерюгин, Ю.П. Ивлев // Санитарная техника. – 2005. – № 3(4). – С. 57-62.

12. Зиганшин, А. М. Вихревая вентиляция. Профилированные элементы систем вентиляции сниженной энергоемкости / А. М. Зиганшин, К.И. Логачев. – Ижевск : Ижевский институт компьютерных исследований, 2022. – 288 с. – ISBN 978-5-4344-0961-2. – EDN TOOFYI.

## REFERENCES

1. Modeling the heat gain from solar radiation through grating smart windows/ R. S. Zakirullin, I. A. Odenbakh, N. M. Gun'ko [и др.] // Academia. Arhitektura i stroitelstvo. – 2023. – № 3. – P. 132-139. – DOI 10.22337/2077-9038-2023-3-132-139. – EDN UOZBKI.

2. Timin, V. S. Local-zone low-temperature heating with film-ray electric heaters / V. S. Timin, I. P. Angeluck // Construction and industrial safety. – 2019. – № 14(66). – P. 139-144. – EDN SQFUZV.

3. Ulyasheva, V. M. Numerical Modeling of Ventilation Processes in Premises / V. M. Ulyasheva, T. A. Datsyuk, E. A. Anshukova // Indoor Air Quality and Environmental Quality: Proceedings of the XXII International Scientific Conference, Samarkand, September 23–27, 2024. – Volgograd: Volgograd State Medical University, 2024. – Pp. 75-80. – EDN BFFSGK.

4. Zaycev O.N., Angeluck I.P., Toporen S.S. Experimental study of the aerodynamic resistance of a conical-spiral heat exchanger of the outgoing flue gases // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – №698 – 055033.

5. Information Model of a Software Complex for Optimization and Management of Ventilation Systems Based on Direct Gas-Dynamic Modeling / M. A. Butenko, D. V. Burnos, S. A. Khoperskov [et al.] // Bulletin of Volgograd State University. Series 10: Innovative Activity. – 2012. – No. 6. – Pp. 31-37. – EDN PEUELZ.

6. Improvement of Operational Characteristics of Ventilation Systems by Enhancing Their Structural Elements / V. N. Andriyuchuk, V. I. Sokolov, N. D. Andriyuchuk, T. E. Shevtsova // Builder of Donbass. – 2023. – No. 1(22). – Pp. 24-28. – EDN HJUPJI.

7. Uvarov, V. A. Modeling of the Air Exchange System in the Alexander Nevsky Temple in the Village of Kozhevennoye / V. A. Uvarov, A. G. Kochev // XIII All-Russian Science Festival: Collection of Abstracts, Nizhny Novgorod, October 24–26, 2023. – Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, 2023. – Pp. 233-234. – EDN IUPAYV.

8. Yastrebov A.V., Zekin V.N. Article "Air Recuperation: Types, Principles of Operation, Functions" // International Scientific Journal "Bulletin of Science" No. 4 (49) Vol. 1, April 2022.

9. Abuova, G. B. Models of Indoor Climate Control / G. B. Abuova, E. P. Kravchenkova, I. Yu. Petrova // Prospects for the Development of the Construction Complex: Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference of Faculty, Young Scientists, and Students, Astrakhan, October 22–23, 2020. Volume 14. – Astrakhan: Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, 2020. – Pp. 536-542. – EDN HEEM LZ.

10. Vieira Zezzo L., Pereira Coltri P., Dubreuil V. Microscale models and urban heat island studies: A systematic review //Environmental Monitoring and Assessment. – 2023. – Т. 195. – №. 11. – С. 1284.

11. Datsyuk T.A. A New Technology for Designing Building Climate Control Systems / T. A. Datsyuk, V. F. Vasilyev, V. V. Deryugin, Yu. P. Ivlev // Sanitary Engineering. – 2005. – No. 3(4). – Pp. 57-62.

12. Ziganshin, A. M. Vortex Ventilation. Profiled Elements of Low-Energy Ventilation Systems / A. M. Ziganshin, K. I. Logachev. – Izhevsk: Izhevsk Institute of Computer Research, 2022. – 288 p. – ISBN 978-5-4344-0961-2. – EDN TOOFYI.

## MODELS OF TURBULENT FLOW IN THE ANALYSIS OF BUILDING AND STRUCTURE CLIMATE FORMATION

Angeluck I.P.<sup>1</sup>, Zaitsev O.N.<sup>2</sup>, Fedyushko U.M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Institute "Academy of Construction and Architecture"  
181, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea 295050

<sup>2</sup>SouthWest State University, 50 Let Oktyabrya Street, 94, Kursk, 305040  
E-mail: <sup>1</sup> iliya.angeluck@yandex.ru; <sup>2</sup> zon071941@mail.ru, <sup>1</sup> fedushko26@rambler.ru

**Abstract.** This article is the first in a series aimed at defining the methodology for applying numerical modeling in predicting microclimate parameters. The article discusses the methods and materials used for the research and presents the results of a comparison between a field experiment and the outcomes of numerical modeling using the k- $\epsilon$  turbulence model under the combined influence of engineering systems on microclimate formation.

**Subject of the study:** microclimate parameters and their convergence in field experiments and the application of the k- $\epsilon$  turbulence model.

**Materials and methods:** The field experiment was conducted in real-world conditions in a university lecture hall using certified equipment. The evaluation of turbulence models was performed through numerical modeling in the FlowSimulation SolidWorks software suite.

**Results:** Tables with values of air velocity and temperature in characteristic zones of the lecture hall were obtained both experimentally and through numerical modeling.

**Conclusions:** A significant discrepancy was identified between the results of the field experiment and the numerical modeling using the k- $\epsilon$  turbulence model for air velocity under the combined influence of engineering systems on microclimate formation.

**Key words:** microclimate, experiment, turbulence models, convergence.



УДК 621.311.24: 621.3.026.5

## ОБОСНОВАНИЕ ПЕРИОДА КВАНТОВАНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ СТОХАСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ И ГЕНЕРИРОВАНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Бекиров Э.А., Воскресенская С.Н.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Физико-технический институт, Симферополь, ул. Киевская, 181, e-mail: Bekirov.e.a@cfuv.ru

**Аннотация.** В статье приводится график измерения реактивной мощности на Мирновской ветроэлектростанции с периодом квантования 1 с и временем измерения 0,2 с. Выбор периода квантования обосновывается с помощью теоремы Котельникова. Измерения одного и того же параметра выполнялись синхронно цифровым мультиметром с периодом отсчетов 1 с и комплектом в составе измерительного преобразователя и цифрового осциллографа PCS500 с периодом отсчетов 0,1 с. При этом учитывался интервал осреднения скорости ветра. Приведена схема измерений для данного случая, предусматривающая передачу информации на персональный компьютер. Оценены погрешности измерений стохастически изменяющихся электрических параметров ветроэнергетической установки. Показаны варианты схем организации передачи данных системы мониторинга для ветроэлектростанции в целом.

**Предмет исследования:** ветроэлектростанция. Исследование направлено на решение проблемы, связанной с точностью проведения измерений реактивной мощности из-за стохастического характера ее генерации и потребления, и передачей данных от ряда ветроэлектроустановок, входящих в состав ветроэлектростанции.

**Материалы и методы:** Применялись как аналитические, так и расчетные методы, основанные на использовании теоремы Котельникова, а также экспериментальные методы.

**Результаты:** Установлено, что выбранный период квантования в 1 с обеспечивает четкую и корректную картину изменения параметров генерированной энергии ветроэнергетической установкой.

**Выводы:** Исследования показали корректность используемой методики определения реактивной мощности для стохастического процесса генерации и потребления на ветроэлектростанции путем отдельного измерения тока и напряжения, а также при передаче данных с использованием радиомодема или сотовой связи. Данная методика и схемы могут быть использованы на других объектах энергетики.

**Ключевые слова:** ветроэнергетическая установка, ветроэлектростанция, реактивная мощность, квантование, осциллограмма, модем, контроллер.

### ВВЕДЕНИЕ

Работа ветроэнергетических установок (ВЭУ) зависит не только от величины скорости и направления ветра, но и от характера изменения ветрового потока. В реальных условиях процессы генерации и потребления являются стохастическими, поэтому измеренные значения реактивной мощности, например, всегда будут указаны с ошибкой. Величина этой ошибки будет зависеть от выбранного периода квантования при измерении и передаче сигнала. Следует отметить, что необходимо также учитывать частоту дискретизации и время проведения измерений.

В связи с этим целью исследования является: обосновать правильность выбора периода квантования при измерении реактивной мощности. Для этого необходимо определить погрешности стохастически изменяющихся параметров. Также задачей является: отобразить схемы измерения и передачи данных от всех ВЭУ, входящих в состав ветроэлектростанции (ВЭС) к персональному компьютеру (ПК), используемому в диспетчерском пункте для контроля и управления работой ВЭС.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Достаточно большое количество исследований в области ветроэнергетики посвящены прогнозированию и измерениям скорости и направления ветра [1 – 5], прогнозированию генерации одной ВЭУ или ВЭС в целом [6]. Причем измерения могут проводиться сразу на высоте расположения ветротурбины, для чего устанавливаются мачты с анемометрами [7, 8], или на уровне земли. Во втором случае для определения актуальных значений используется формула Хеллмана [9].

Для большой группы ВЭУ используются асинхронные генераторы [10], вследствие чего необходимо учитывать, что в процессе их работы как потребляется, так и генерируется реактивная мощность [11, 12]. Для управления режимом изменения реактивной мощности могут использоваться специальные контроллеры [13], статистические тиристорные компенсаторы или параллельно включаемые емкости [14, 15].

Но для того чтобы проводить регулирование, в первую очередь, необходимы измерения. Описание методов, используемых в сетях напряжением 0,4 кВ можно найти в работе [16]. При небольшом числе гармоник для синусоидального сигнала можно использовать, например, преобразователь Герцеля [17].

Любые измерения будут содержать погрешности, которые могут состоять из нескольких составляющих. Одна из этих составляющих будет связана с квантованием [18], другая – с рассогласованием при получении данных о напряжении и токе и, как следствие, появлением дополнительного фазового сдвига [19].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Используются экспериментальные методы исследований и теорема Котельникова для анализа результатов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

При проведении экспериментальных исследований стохастических процессов потребления и генерирования реактивной мощности промышленной ВЭС с асинхронными генераторами, которые зависят от порывов ветра, необходимо задать период дискретизации (квантования) входного сигнала при считывании результатов измерений. Необходимость квантования при измерении непрерывной стохастической величины (реактивной мощности), приводит к появлению методической погрешности, так как квантование по времени предполагает представление непрерывной функции  $x(t)$  в виде

дискретного набора значений  $x(t_i)$  и, затем, ее восстановление. Как правило, приближающую функцию, аппроксимирующую временной ряд полученного набора значений по всей его длине, невозможно описать аналитически. Поэтому одним из способов восстановления непрерывной функции является выбор достаточно малого периода квантования  $\Delta t = t_i - t_{i+1}$  и соединение полученных точек отрезками или сглаживающей линией. С уменьшением периода квантования уменьшается и методическая погрешность.

Определяя период квантования необходимо учитывать, что любой цифровой прибор имеет быстродействие вычисления измеряемых параметров и период регистрации. На рис. 1 показана реальная функция изменения реактивной мощности на шинах ВЭМ ТП-6 Мирновской ВЭС, записанная электронным осциллографом "Velleman" в режиме самописца. Длительность интервала записи составляет 5 с, а частота дискретизации равна 0,1 с. На рис. 1 показаны импульсы, соответствующие регистрации этой функции с периодом квантования в 1 с и временем вычисления измеряемой величины равному 0,2 с. Середины вершин этих импульсов соединены отрезками. Отклонение этих отрезков ( $\Delta q$ ) от реальной функции реактивной мощности представляет собой методическую погрешность.

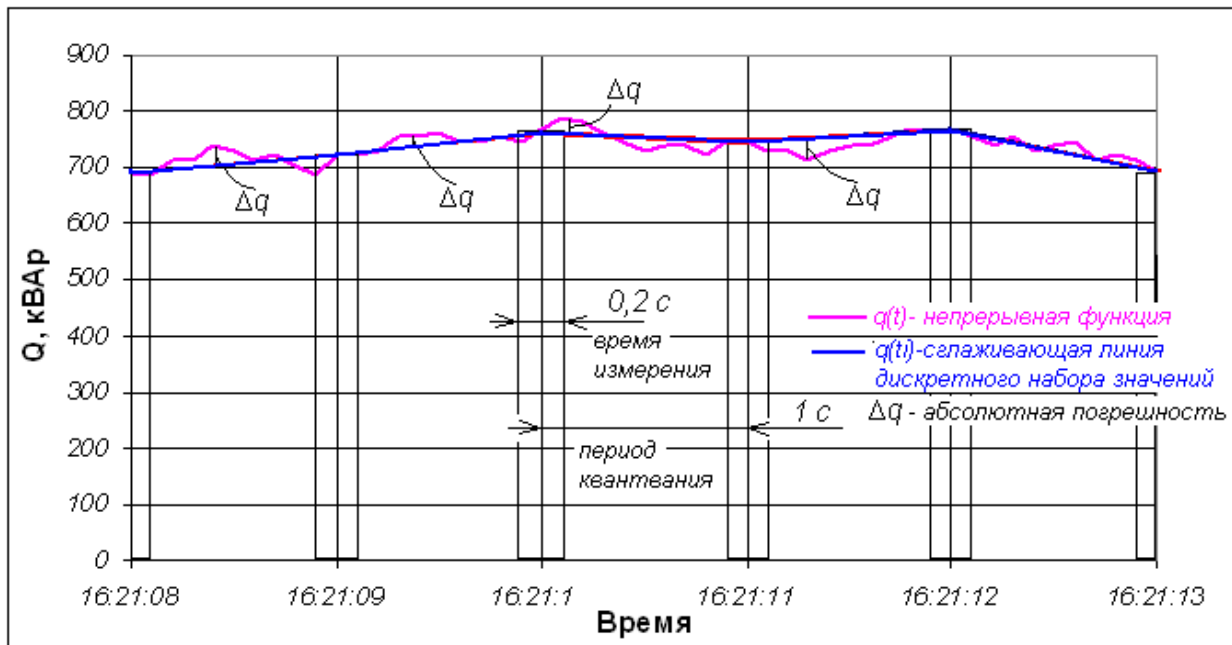


Рис. 1. Иллюстрация процесса измерения и регистрации реактивной мощности на ВЭМ ТП-6 с периодом квантования 1 с

Fig. 1. Illustration of the process of measuring and registration of reactive power on the transformer substation-6 wind energy module with the quantization period 1 second

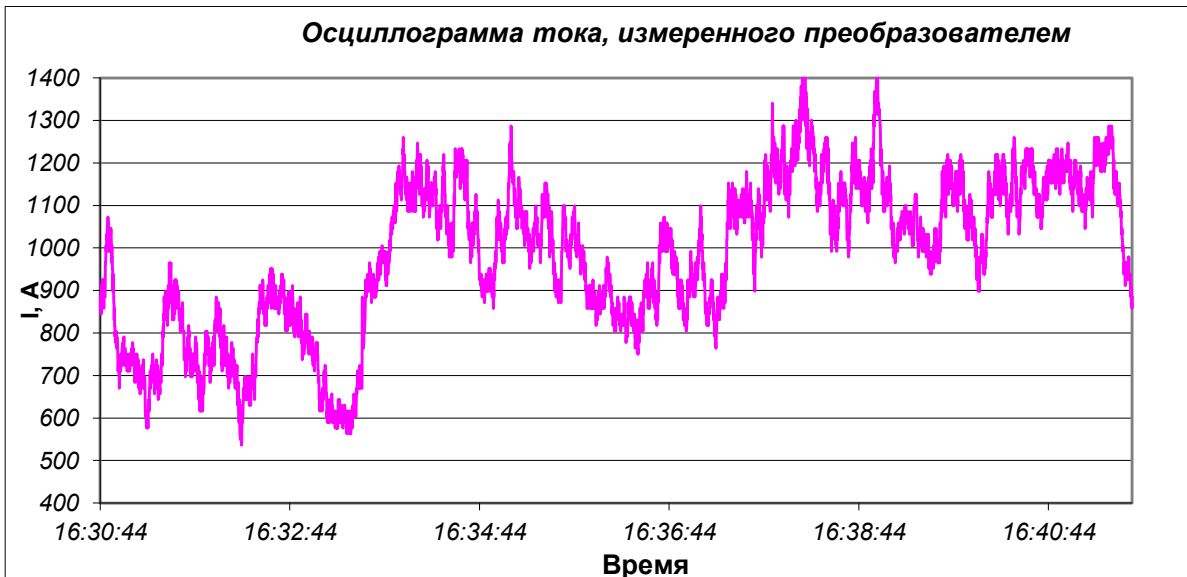
Имея непрерывную стохастическую функцию изменения реактивной мощности, определяем период квантования по времени, при котором

методическая погрешность (отклонение между исходной и восстановленной функцией) не превышала бы значения 5%.





а)



б)

**Рис. 3.** Оциллограммы измерений мгновенных значений тока: а) с периодичностью 1 с мультиметром DMK-40; б) с периодичностью 0,1 с измерительным преобразователем переменного тока и осциллографом "Velleman" PCS-500 в режиме самописца

**Fig. 3.** Oscillograms of measurement of instantaneous current values: а) with a frequency of 1 second by multimeter DMK-40; б) with a frequency of 0.1 second with a measuring transducer of alternating current and oscilloscope "Velleman" PCS-500 in a recorder mode

Полученные оциллограммы свидетельствуют, что выбранный период квантования в 1 с обеспечивает чёткую и корректную картину изменения параметров генерированной энергии ВЭУ. Получение количественной оценки погрешности измерений было выполнено в соответствии с рекомендациями по формулам:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i,$$

$$S(\bar{A}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{A})^2}{n \cdot (n - 1)}},$$

$$\varepsilon = \pm t \cdot S(\bar{A}),$$

$$\theta = k \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m \theta_i^2},$$

$$\Delta = \sqrt{\varepsilon^2 + \theta^2},$$

(2)

где  $\bar{A}$  – результат измерения (среднее арифметическое значение исправленных результатов наблюдений);  
 $n$  – количество значений измерений;  
 $x_i$  – значение  $i$ -го измерения;  
 $S(\bar{A})$  – среднее квадратическое отклонение результата измерения;  
 $\varepsilon$  – доверительные границы случайной погрешности результатов измерений;  
 $t$  – коэффициент Стьюдента, который в зависимости от доверительной вероятности  $P$  и

числа результатов измерений  $n$  находят по таблицам;  
 $\Theta$  – систематическая погрешность результатов измерений;  
 $\Theta_i$  –  $i$ -я систематическая погрешность;  
 $k$  – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью ( $k = 1,1$  при доверительной вероятности  $P=0,95$ );  
 $\Delta$  – суммированная погрешность.  
 Результаты вычисления погрешности измерений приведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Результаты вычисления погрешности измерений стохастически изменяющихся электрических параметров ВЭУ с периодом квантования 1 с

**Table 1.** The results of the calculation of the measurement error of stochastic changes at the wind turbine with a quantization period 1 second

Результат измерений, о.е.	Результат измерений с учетом приведенной погрешности $\gamma$ при $P=0,95$ , о.е.	Оценка среднего квадратич. отклонения результата измерения $S(\bar{A})$ , о.е.	Суммированная погрешность $\Delta$ с учетом погрешности преобразования при $P=0,95$ , о.е.	Суммированная погрешность $\Delta$ , при $P=0,95$ , о.е.	Случайная погрешность $\varepsilon$ , о.е.	Систематическая погрешность $\Theta$ , о.е.
0,025826	$0,025826 \pm 0,005578$	$2,052 \cdot 10^{-3}$	$5,578 \cdot 10^{-3}$	$3,288 \cdot 10^{-3}$	$1,324 \cdot 10^{-3}$	$3,01 \cdot 10^{-3}$

Полученная приведенная погрешность измерения параметров электроэнергии ВЭУ с периодом квантования 1 с не превышает граничных значений точности, принятых для данного исследования (5%). Поэтому значение периода квантования в 1 с было взято за основу при разработке и создании измерительного комплекса для проведения экспериментальных исследований стохастических процессов генерирования и потребления реактивной мощности ВЭС.

Одной из разновидностей этого варианта есть полностью автономное функционирование мультиметра на отдельных узлах ВЭС, поскольку в мультиметрах DMK40 предусмотрена программная установка активации-деактивации режима записи в архив по установленным пороговым значениям соответствующих параметров. Для периодического считывания архивов используется или портативный ПК, или специализированный логгер. Достоинством такого применения прибора является то, что он может использоваться на отдаленных точках ВЭС, куда не проложены линии связи и то, что моменты активации-деактивации режима записи в архив детерминированы.

Сформулированные выше основные положения создания системы мониторинга реализованы на Мирновской ВЭС. Фрагменты схемы соединений показаны на рисунке 4. На пульте управления персональный компьютер (ПК-1) служит системным контроллером сбора данных. Последовательный порт ПК-1 через

преобразователь интерфейса и систему кроссов (КС) витыми парами жил кабелей соединен с мультиметрами типов DMK 62 и DMK 40. Мультиметры установлены и присоединены в характерных точках ВЭС.

Ветроэнергетические установки промышленных ВЭС могут находиться на больших расстояниях (до 5 – 7-ми километров) от пункта управления. При этом характеристики штатных линий связи могут не обеспечивать необходимую для функционирования системы мониторинга скорость обмена данными, а к самым отдаленным ВЭУ линии связи могут и не доходить. В этом случае одним из вариантов измерений может быть применение автономной работы мультиметра DMK40 с энергонезависимой памятью и считывания архива данных через ноутбук ПК-2 непосредственно с самого мультиметра. Другим вариантом решения этой задачи может быть объединение группы отдаленных от центра сбора данных, однако близко расположенных одна от другой ВЭУ локальной линией интерфейса RS 485, а обмен данными с центром сбора данных можно осуществлять через радиомодем с соответствующим выходным интерфейсом, например SST-900EXT. На рисунке 5 представлена функциональная схема организации такого обмена. На удаленных объектах ВЭС модули сбора данных – МЗД1- МЗДк соединены локальной линией интерфейса RS-485. Каждому из модулей сбора данных всей системы установлены индивидуальные адреса. Линии интерфейса

замыкаются на радиомодем РМ(S), который в этой конфигурации системы выполняет роль ведомого (Slave), то есть трансформирует и передает потоки данных, генерированных модулями сбора данных и системным контроллером системы, каким есть персональный компьютер - ПК СМПЕЕ. ПК осуществляет связь и проводит сеансы обмена данными с МЗД через аналогичный радиомодем РМ(M), который выполняет функции ведущего (Master). Для этого в ПК должен быть введен отдельный порт связи (для радиомодемов SST-900EXT). Обмен данными ПК с абонентами системы по проводным линиям связи осуществляется с другого порта ПК через соответствующий формирователь Ф485 сигналов

интерфейса. Программное обеспечение системы в этом случае должно обеспечивать режим мультипортового приема данных. В указанных выше радиомодемах предусмотрен многоканальный обмен данными, что дает возможность реализовать максимум 8 аналогичных подсистем обмена (соответственно с вдвое большим числом необходимых для этого модемов). Связь с отдаленными модулями через радиомодем позволяет не только обойтись без длинных линий связи, но и передавать данные при максимально возможных скоростях обмена, что существенно увеличивает реальную информационную продуктивность всей системы мониторинга.

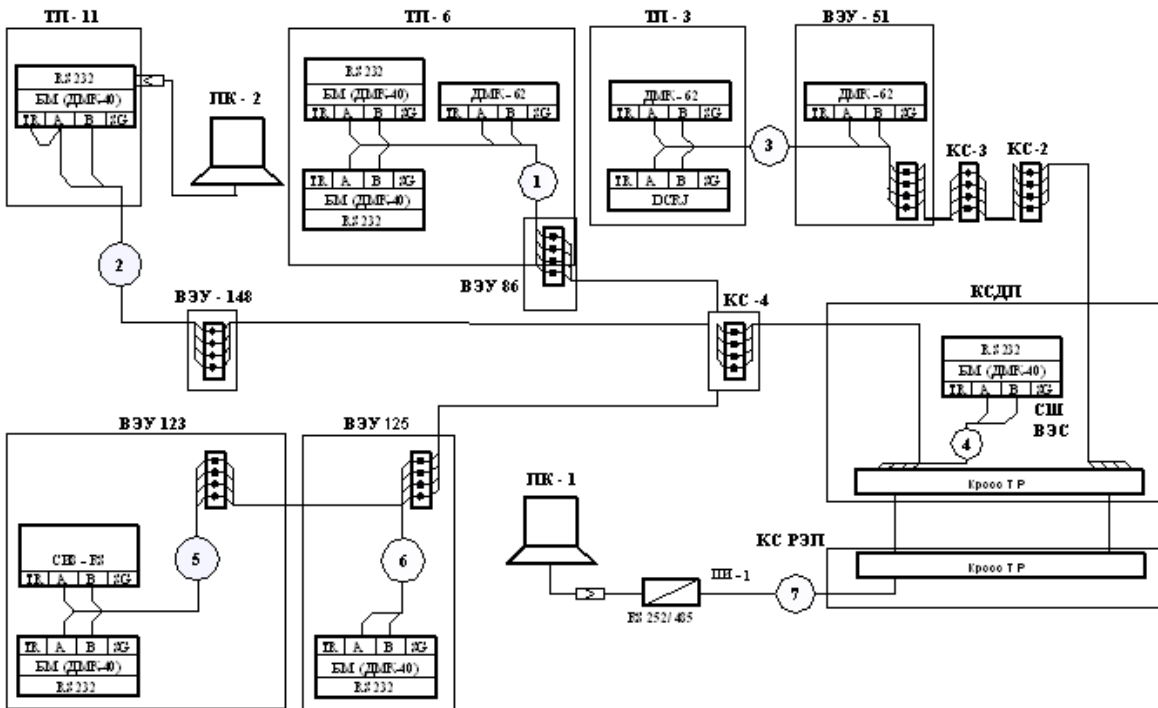


Рис. 4. Схема организации связи передачи данных системы мониторинга на Мирновской ВЭС

Fig. 4. Scheme of the organization of communication of the transfer of data of the monitoring system on Mirnovskaya wind farm

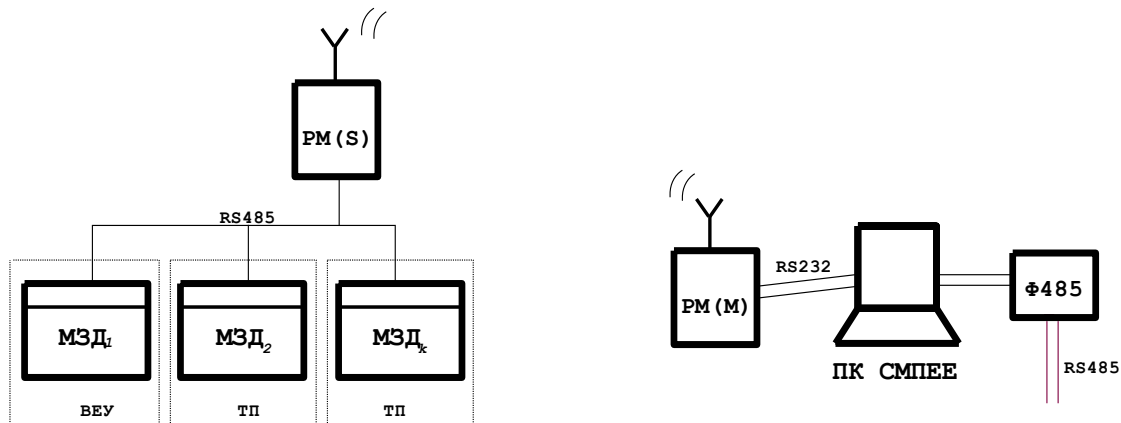
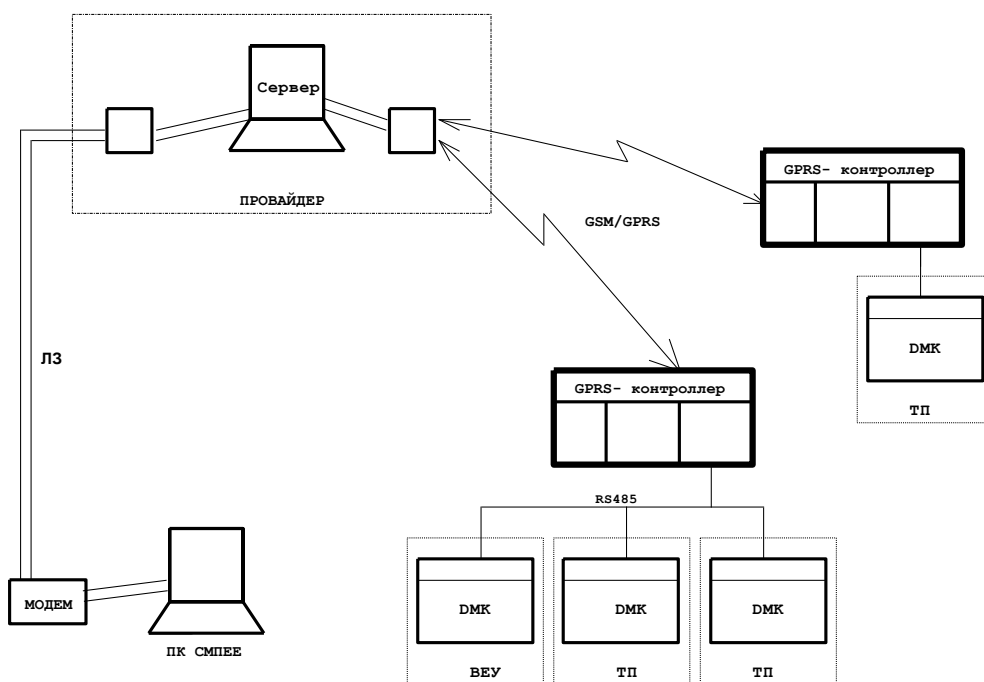


Рис. 5. Схема организации передачи данных системы мониторинга с использованием радиомодема

Fig. 5. Scheme for the organization of data transfer of monitoring systems using a radio modem

Для обмена данными на больших расстояниях наиболее перспективное решение заключается в применении сотовой GSM – сети, основная функция которой состоит в присоединении отдельных устройств к сети интернет через GSM – модемы или GPRS - контроллеры. Это позволяет организовать обмен данными между отдаленными информационными точками системы и резидентным ПК на основе протокола TCP/IP, если ПК дать фиксированный IP- адрес. Существенным моментом есть то обстоятельство, при котором оборудование GSM – сети используется только в момент передачи данных. При таком обмене фактическим ограничением числа приборов,

которые одновременно обмениваются данными с ПК, есть пропускная способность канала присоединения к Интернет. Так, при подключении ПК к Интернет через ADSL- модем, который работает на абонентском участке обычной телефонной линии, может осуществляться одновременный обмен данными с несколькими десятками приборов типа ДМК. Это позволяет полностью снять проблему организации обмена данными в реальном масштабе времени для системы мониторинга. На рисунке 6 приведена схема организации передачи данных с применением GPRS - услуги.



**Рис. 6.** Схема организации передачи данных системы мониторинга с использованием сотовой связи  
**Fig. 6.** Scheme for the organization of data transfer of monitoring systems using cellular communications

Отдельные территориально близко расположенные мультиметры объединяются проводными линиями последовательного интерфейса в локальные подсистемы с GPRS-контроллерами. Эти контроллеры через GSM-сеть обмениваются данными с GPRS-сервером провайдера интернета, с которым через проводную линию связи соединяется ПК системы мониторинга ВЭС. Такая конфигурация системы, несмотря на увеличение затрат, не только обеспечивает полный сбор и регистрацию всей необходимой информации, но и может быть установлена в точках ВЭС, где вообще нет линий связи.

Варианты построения системы мониторинга параметров электроэнергии промышленных ВЭС были реализованы на Мирновской ВЭС и показали эффективность и возможность применения на других действующих или строящихся станциях.

Экспериментальный образец измерительного комплекса системы автоматического мониторинга параметров электрической энергии был принят в промышленную эксплуатацию на Мирновской ВЭС. Расположение измерительных приборов на составных частях ВЭС показано на схеме (рис. 7). Измерительные приборы системы мониторинга окрашены на схеме в темный цвет и расположены на ВЭУ-123, 125 (ТП-9) и ВЭУ-51 (ТП-3); на ТП-3, 6, 11; на РП-35 кВ (рис. 8). Сервер системы мониторинга размещен на центральном пункте управления станцией. Для связи мультиметров с ПК использована существующая сеть кабелей управления ветроэнергетическими установками через резервные жилы. Информационная связь между трансформаторными подстанциями и ВЭУ осуществлена с помощью прокладки новых коротких кабельных линий.

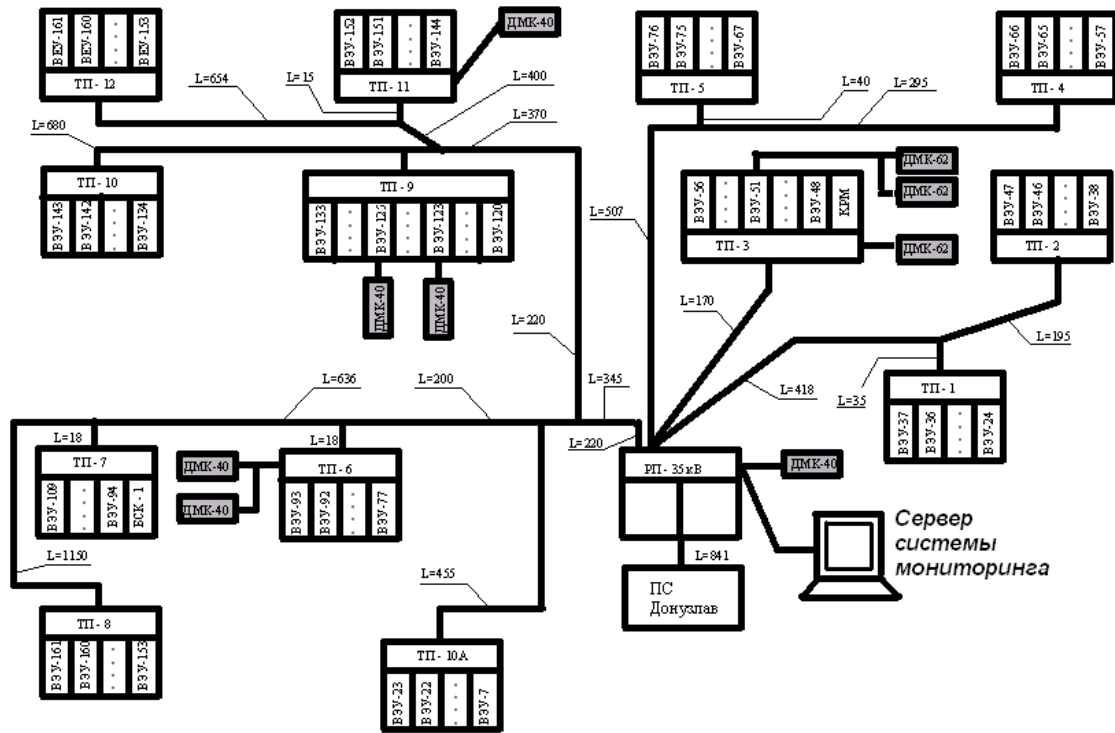


Рис. 7. Схема расположения измерительных приборов на ВЭС  
 Fig. 7. The location of measuring instruments at the wind farm

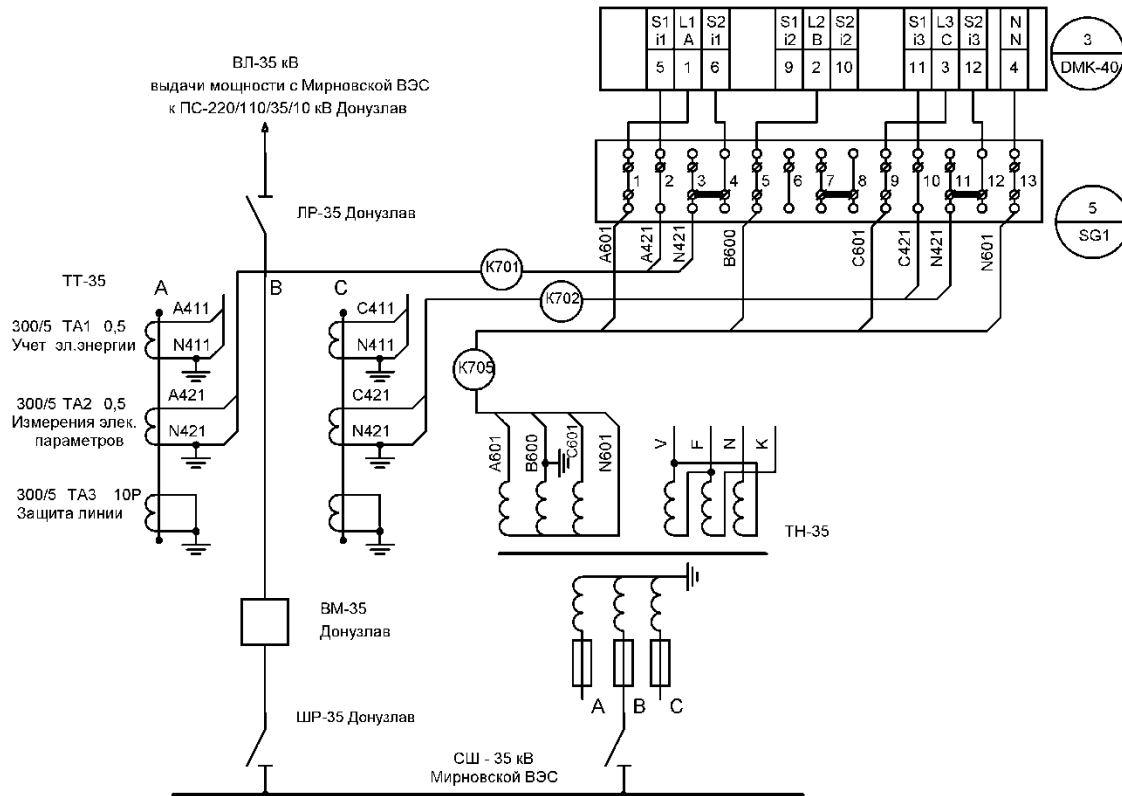


Рис. 8. Схема подключения мультиметра DMK-40 к шинам 35 кВ Мирновской ВЭС  
 Fig.8. DMK-40 multimeter connection diagram to 35 kV tires of the Mirnovskaya wind farm

## ВЫВОДЫ

Таким образом, в статье обоснован выбор периода квантования, равный 1 с при измерении реактивной мощности с помощью использования сути теоремы Котельникова. При этом случайная составляющая погрешности не превышает  $1,324 \cdot 10^{-3}$ , а систематическая составляющая –  $3,01 \cdot 10^{-3}$ .

Полученные при синхронных измерениях тока цифровым мультиметром с периодом отсчётов 1 с и комплектом в составе измерительного преобразователя и цифрового осциллографа PCS500 с периодом отсчётов 0,1 с осциллограммы свидетельствуют, что выбранный период квантования обеспечивает корректный результат.

Приводится два варианта схем передачи данных от ветроэнергетических установок к управляющему компьютеру: с использованием радиомодема и сотовой связи. Они показали свою эффективность при использовании на Мирновской ветроэлектростанции и могут применяться на других объектах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хассан Ф.А., Гайнуллина Л.Р., Тимербаев Н.Ф. Методика оценки и прогнозирования среднегодовой скорости и направления ветра на основе данных ветроизмерений // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 3 (55). С. 59-68.
2. Матренин П.В., Манусов В.З., Игумнова Е.А. Устойчивое краткосрочное прогнозирование скорости ветра с помощью адаптивных компактных нейронных сетей // Проблемы региональной энергетики. 2020. № 3 (47). С. 69-80.
3. Min-Woo Baek, Min Kyu Sim and Jae-Yoon Jung; Wind power generation prediction based on weather forecast data using deep neural networks // ICIC Express Letters. 2020. Volume 11, Number 9. pp. 863-868.
4. Lawrence R. Martin. Wind energy - the facts: a guide to the technology economics and future of wind power // Journal of Cleaner Production. 2010. 18 (10). pp. 1122 – 1123.
5. Freitas Nicksson, Silva Marcelino, Sakamoto Meiry. Wind speed forecasting: a review // International Journal of Engineering Science. 2018. 8. 10.9790/9622-0801010409.
6. Безьязычный В.С., Велигура С.А., Калашников А.И., Надтока И.И. Анализ зависимостей электропотребления в энергосистеме от скорости ветра и эффективной температуры воздуха и использование их при краткосрочном прогнозировании // В сборнике: Электроэнергетика глазами молодежи - 2020. материалы XI Международной научно-технической конференции. В 2-т.. Ставрополь, 2020. С. 147-150.
7. Насырова Е.В., Тимербаев Н.Ф., Леухина О.В., Мазаров И.Ю. Анализ данных ветромониторинга в республике Татарстан // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21. № 6. С. 39-50.
8. Hellmann G. Uber die Bewegung der Luft in den untersten Schichten der Atmosphäre. Meteorol. Zeit. 1915. Vol. 32. pp. 1 – 16.
9. Хассан Ф.А., Алали Ш., Гайнуллина Л.Р. Повышение эффективности ветровых электростанций // iPolytech Journal. 2022. Т. 26. № 2. С. 217-227.
10. Шерязов С.К., Исенов С.С., Исаков Р.М. и др. Основные типы ветротурбин-генераторов в системе электроснабжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 5. С. 24 – 33.
11. Ширококова О.Е., Лапонов А.С. Вопросы компенсации реактивной мощности в электросетях // В сборнике: Проблемы энергообеспечения, автоматизации, информатизации и природопользования в АПК. Сборник материалов международной научно-технической конференции. 2022. С. 260 – 263.
12. Shankar Rajukkannu, Gomathy Velmurugan, Ramkumar Pandian, (2024). An Effective SST-FLC for Mitigation of Reactive Power Compensation of DFIG Based Wind Energy Conversion System // Electric Power Components and Systems. 1-18. 10.1080/15325008.2023.2298268.
13. Вдовин Д.В., Имелбаев Ф.Ф., Нефедова А.А. Функциональная модель контроллера ветроэлектростанции с логической схемой управления и контроля активной и реактивной мощности // КИП и автоматика: обслуживание и ремонт. 2023. № 10. С. 49-56.
14. Андрияшанов Д.А., Брацок Ф.О., Никишин А.Ю. Регулирование реактивной мощности ветроэлектростанций при подключении к энергосистеме Калининградской области // Вестник молодежной науки. 2018. № 5 (17). С. 15.
15. Yanping Deng, Ye Du, Yifan Sun, etc. (2024). Distributed energy storage participates in reactive power optimization strategy research of new distribution system // Journal of Physics Conference Series. 2831. 012036. 10.1088/1742-6596/2831/1/012036.
16. Тропин В.В., Кучеренко Р.Е., Кучеренко Д.Е. Анализ эффективности устройств измерения и регулирования реактивной мощности в сельских электрических сетях 0,4 кВ. Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Аэтерна". 2024. 162 с.
17. Серов А.Н., Иваненко К.А., Золкин Д.С. Применение преобразователя герцеля для измерения параметров реактивной мощности // Автоматизация и измерения в машино-приборостроении. 2022. № 2 (18). С. 75-86.
18. Лычев А.О. Оценка влияния погрешности квантования на результат измерения активной и реактивной мощностей // Южно-Сибирский научный вестник. 2013. № 1 (3). С. 61-63.
19. Серов А.Н., Иваненко К.А., Подобуев С.А., Шатохин А.А. Оценка влияния апертурной задержки ацп на погрешность измерения

реактивной мощности // Южно-Сибирский научный вестник. 2023. № 3 (49). С. 121-130.

## REFERENCES

- Hassan F.A., Gainullina L.R., Timerbaev N.F. Methods of evaluating and forecasting the average annual speed and direction of wind based on wind measurements. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*. 2022. Vol. 14. No. 3 (55). pp. 59-68. (In Russian).
- Matrynin P.V., Manusov V.Z., Igumnova E.A. Sustainable short-term forecasting of wind speed using adaptive compact neural networks. *Problemy regional'noj energetiki*. 2020. No. 3 (47). pp. 69-80. (In Russian).
- Min-Woo Baek, Min Kyu Sim and Jae-Ion Jung; Wind Power Generation Prediction Based on Weather Forecast Data Using Deep Neural Networks. *ICIC Express Letters*. 2020. Volume 11, Number 9. pp. 863-868.
- Lawrence R. Martin. Wind Energy - The Facts: A Guide to the Technology Economics and Future of Wind Power. *Journal of Cleaner Production*. 2010. 18 (10). pp. 1122 - 1123.
- Freitas Nicksson, Silva Marcelino, Sakamoto Meiry. Wind Speed Forecasting: A Review // *International Journal of Engineering Science*. 2018. 8. 10.9790/9622-0801010409.
- Bez'yazychnyj V.S., Veligura S.A., Kalashnikov A.I., Nadtoka I.I. Analysis of the dependencies of electrical consumption in the energy system on the wind speed and the effective air temperature and their use for short-term forecasting. In the collection: *Electric power industry with the eyes of youth - 2020. Materials of the XI International Scientific and Technical Conference*. In 2-t .. Stavropol, 2020. pp. 147-150. (In Russian).
- Nasyrova E.V., Timerbaev N.F., Leuhina O.V., Mazarov I.Yu. Analysis of windmoming data in the Republic of Tatarstan. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Problemy energetiki*. 2019. Vol. 21. No. 6. pp. 39-50. (In Russian).
- Hellmann G. *Uber Die Bewegung Der Luft in Den Unterten Schichten Der Atmosphere*. *Meteorol. Zeit.* 1915. Vol. 32. pp. 1 - 16.
- Hassan F.A., Alali Sh., Gainullina L.R. Improving the efficiency of wind power plants. *Ipolytech Journal*. 2022. Vol. 26. No. 2. pp. 217-227. (In Russian).
- Sher'yazov S.K., Isenov S.S., Iskakov R.M. i dr. The main types of wind turbine generators in the power supply system. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Problemy energetiki*. 2021. Vol. 23. No. 5. pp. 24 - 33. (In Russian).
- Shirobokova O.E., Laponov A.S. Issues of compensation for reactive power in electric networks. In the collection: *problems of energy supply, automation, informatization and nature management in the agro - industrial complex. A collection of materials of the International Scientific and Technical Conference*. 2022. pp. 260 - 263. (In Russian).
- Shankar Rajukkannu, Gomathy Velmurugan, Ramkumar Pandian, (2024). An Effective SST-FLC for MITIGATION OF REACTID POWER COMPENSATION OF DFID WIND ENERGY Conversion System. *Electric Power Components and Systems*. 1-18. 10.1080/15325008.2023.2298268.
- Vdovin D.V., Imelbaev F.F., Nefedova A.A. The functional model of the wind farm controller with the logical control and control of active and reactive power. *KIP i avtomatika: obsluzhivanie i remont*. 2023. No. 10. pp. 49-56. (In Russian).
- Andryushanov D.A., Bracyuk F.O., Nikishin A.Yu. Regulation of the reactive power of wind farms when connecting to the energy system of the Kaliningrad region. *Vestnik molodezhnoj nauki*. 2018. No. 5 (17). pp. 15. (In Russian).
- Yanping Deng, Ye Du, Yifan Sun, etc. (2024). Distributed Energy Storage Participates in Reactive Power Optimization Strategy of New Distribution System. *Journal of Physics Conference Seres*. 2831. 012036. 10.1088/1742-6596/2831/1/012036.
- Tropin V.V., Kucherenko R.E., Kucherenko D.E. Analiz effektivnosti ustrojstv izmereniya i regulirovaniya reaktivnoj moshchnosti v sel'skih elektricheskikh setyah 0,4 kV [Analysis of the effectiveness of devices for measuring and regulating reactive power in rural electric networks 0.4 kV]. Ufa: Limited Liability Company "Aetern". 2024. 162 p. (In Russian).
- Serov A.N., Ivanenko K.A., Zolkin D.S.. The use of Herzel converter to measure reactive power parameters. *Automation and measurement in machine-construction*. 2022. No. 2 (18). pp. 75-86. (In Russian).
- Lychev A.O. Assessment of the influence of quantum error on the result of measurement of active and reactive capacities. *Yuzhno-Sibirskij nauchnyj vestnik*. 2013. No. 1 (3). pp. 61-63. (In Russian).
- Serov A.N., Ivanenko K.A., Podobuev S.A., Shatohin A.A. Assessment of the influence of the apertured delay in ADC on the error of the measurement of reactive power. *Yuzhno-Sibirskij nauchnyj vestnik*. 2023. No. 3 (49). pp. 121-130. (In Russian).

JUSTIFICATION OF THE PERIOD OF QUANTIZING MEASUREMENTS OF STOCHASTIC PROCESSES OF CONSUMPTION AND GENERATING REACTIVE POWER

Bekirov E.A., Voskresenskaya S.N.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Institute of Physics and Technology, Simferopol, 181, Kyivska Street, e-mail: Bekirov.e.a@cfuv.ru

**Abstract.** The article provides a schedule for measuring reactive power at the Mirnovskaya wind farm with a quantization period of 1 second and a measurement time of 0.2 second. The choice of quantification period is justified using the Kotelnikov theorem. The measurements of the same parameter were performed by synchronously digital multimeter with a period of 1 second references and a set as part of a measuring converter and digital oscilloscope PCS500 with a reference period of 0.1 second. At the same time, the interval of the velocity of the wind was taken into account. The measurement scheme is given for this case, providing for the transfer of information to a personal computer. The errors of measurements of stochastically changing electrical parameters of a wind energy installation are evaluated. The options for the organization of the organization of data transfer of the monitoring system for the wind farm as a whole are shown.

**Subject:** wind farm. The study is aimed at solving the problem associated with the accuracy of conducting reactive power due to the stochastic nature of its generation and consumption, and the transfer of data from a number of wind turbines that are part of the wind farm.

**Materials and methods:** both analytical and calculated methods based on the use of Kotelnikov theorems, as well as experimental methods, were used.

**Results:** It was established that the selected quantization period in 1 second provides a clear and correct picture of changing the parameters of the generated energy by a wind turbine.

**Conclusions:** Studies have shown the correctness of the methodology for determining the reactive power for the stochastic generation and consumption on the wind farm by a separate measurement of current and voltage, as well as when transmitting data using a radio modem or cellular communication. This technique and schemes can be used at other energy facilities.

**Key words:** wind turbine, wind farm, reactive power, quantizing, oscillogram, modem, controller.



## Раздел 4. Экологическая безопасность

УДК 556.53:631

### ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ БЕРЕГОЗАЩИТЫ

Иваненко<sup>1</sup> Т.А., Ветрова<sup>2</sup> Н.М

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского. Институт «Академия строительства и архитектуры»  
295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181  
E-mail: <sup>1</sup>sapronovat@mail.ru, <sup>2</sup>хаос.ветрова.03@mail.ru;

**Аннотация.** При решении проблемы рекреационного использования морских берегов рассматриваются две основные и в определенной мере противоречивые задачи: с одной стороны, более полного удовлетворения спроса населения на отдых на водных объектах и, с другой стороны, снижение негативного воздействия рекреации на береговые и аквальные экосистемы. Комплексное проявление взаимосвязанных природных процессов определяет характер вещественно-энергетических потоков в прибрежной зоне и формирует ее фоновое экологическое состояние. Инженерными средствами на побережье рекомендуется формировать такую обстановку, которая в наибольшей степени благоприятствовала бы естественному ходу природных береговых процессов. Для этого используются сооружения: молы, искусственные косы, острова - искусственные атоллы и другие. Этот метод при развитии инженерного обустройства весьма перспективен для создания новых берегоукрепительных сооружений. Проанализированы сложившиеся проблемы природопользования относительно состояния природных условий береговой зоны западного побережья крымского полуострова, особенности антропогенного воздействия и характеристики используемых инженерных решений берегозащиты на участке побережья в районе с. Береговое. Рассмотрены возможные конструктивные решения берегозащиты по улучшению экологического состояния данной рекреационной зоны.

**Предмет исследования:** конкретизация особенностей природных и антропогенных факторов, которые определяют подходы к разработке инженерных решений берегозащитных сооружений на западном побережье Крыма.

**Материалы и методы:** в основу выполнения представленного исследования положены традиционные методы: анализ, систематизация, обобщение опубликованных и фондовых материалов, картографическое и математические моделирование, системный анализ, картографические и компьютерные технологии.

**Результаты:** Одним из перспективных рекреационных участков является рекреационная зона с. Береговое в устье реки Западный Булганак, однако этот участок является оползне- и абразионноактивным. Абразионные процессы на побережье приводят к возникновению оползней на клифах и создают угрозу для отдыхающих в рекреационных зонах. Целесообразно проведение мероприятий по берегозащите. Проанализирован реализуемый проект, его схемы.

**Выводы:** Результаты анализа сложившихся проблем природопользования относительно состояния природных условий береговой зоны западного побережья Крымского полуострова, проведенных экспериментальных исследований и подходов к конструированию биопозитивных берегозащитных сооружений в Западной рекреационной зоне Крыма, подтверждают необходимость организации комплексных исследований природных процессов в береговой зоне моря, что позволит проектировать оптимальные инженерные сооружения для обеспечения экологической безопасности на приморских территориях.

**Ключевые слова:** прибрежная рекреационная зона, природные условия, берегозащитные сооружения, берегоукрепление, абразионные и оползневые процессы, биопозитивность.

### ВВЕДЕНИЕ

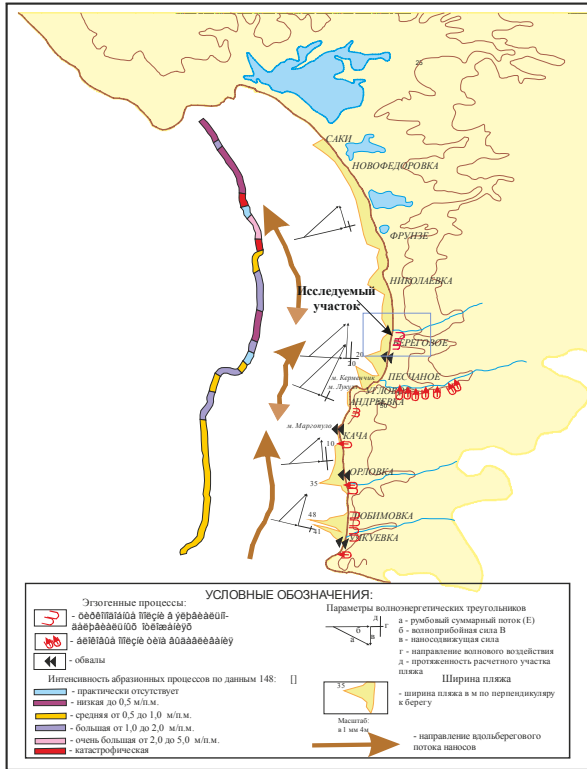
Рекреационное природопользование занимает важное место в многоаспектной проблеме освоения морских берегов, поскольку развитие рекреации и туризма предъявляет высокие требования к качеству окружающей среды в целом, и отдельных компонентов природы (прибрежной зоны), в частности.

Отметим, что при решении проблемы рекреационного использования морских берегов рассматриваются две основные и в определенной мере противоречивые задачи: с одной стороны, более полного удовлетворения спроса населения на отдых на водных объектах и, с другой стороны, снижение негативного воздействия рекреации на береговые и аквальные экосистемы.

Активное освоение прибрежной рекреационной зоны Республики Крым, в частности западного берега, повлекло за собой увеличение плотности существующей застройки и расширение зоны застройки свободных территорий примерно на 10-14% в год [1], при износе объектов берегозащиты до 65%. Из-за этого возникает острый конфликт между стремлением активно потреблять прибрежные ресурсы и необходимостью обеспечить их долгосрочное использование. Учитывая, что прибрежная зона относится к высокодинамичным территориям, рекреационное освоение ее способствует интенсификации изменений природных комплексов этой зоны. Сохранение имеющегося рекреационного потенциала, учет современной динамики и процессов формирования пляжных полос в условиях развития рекреационной деятельности имеют особое значение при решении

задач экологической безопасности территории побережья Крыма [1].

Комплексное проявление взаимосвязанных природных процессов определяет характер вещественно-энергетических потоков в прибрежной зоне и формирует ее фоновое экологическое состояние (рис. 1) [2, 3].



**Рис. 1.** Характеристика процессов прибрежной рекреационной зоны западного Крыма [2]

**Fig. 1.** Characterization of the processes of the coastal recreational zone of western Crimea [2]

Инженерными средствами на побережье рекомендуется формировать такую обстановку, которая в наибольшей степени благоприятствовала бы естественному ходу природных береговых процессов. Для этого используются сооружения: молы, искусственные косы, острова - искусственные атоллы и другие. Этот метод при развитии инженерного обустройства весьма перспективен для создания новых берегоукрепительных сооружений [3].

Цель статьи – проанализировать сложившиеся проблемы природопользования относительно состояния природных условий береговой зоны западного побережья крымского полуострова, особенности антропогенного воздействия и характеристики используемых инженерных решений берегозащиты на участке побережья в районе с. Береговое. Уточнить возможные конструктивные решения по улучшению экологического состояния данной рекреационной зоны.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Исследованию состояния берегозащитных сооружений Республики Крым, и западного побережья в частности, посвящено значительное количество публикаций сотрудников Федерального исследовательского центра "Морской гидрофизический институт" РАН [4-6] и др..

Тем не менее, многие вопросы, связанные с исследованием экологической безопасности территории побережья Крыма как объекта рекреационной деятельности в части поддержания ее рекреационных ресурсов в пригодном для использования состоянии не теряют актуальности, в настоящее время остро стоят в связи с активным освоением берега (например, проект «Золотые пески») и требуют постоянного внимания и разработки и внедрения мероприятий для поддержания объектов инженерной защиты берегов в удовлетворительном состоянии и улучшения качества природных ресурсов для рекреационного использования.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В основу выполнения представленного исследования положены традиционные методы: анализ, систематизация, обобщение опубликованных материалов и собственных натуральных исследований, картографическое и математические моделирование, системный анализ, картографические и компьютерные технологии.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

На анализируемом участке Западного побережья Крыма, который в последние годы активно осваивается для развития современной рекреационной деятельности, отмечается значительная активизация экзогенных процессов. Так, в ряде случаев техногенные факторы определяют деградацию морских берегов: несанкционированная индивидуальная защита коротких участков береговой линии, вне учета общей схемы динамики наносов (ведет к деградации соседних участков побережья) о чем неоднократно упоминалось в работах авторов [7] и других исследователей [4-6, 9]; подсежки и пригрузки склонов сооружениями, отвалами грунта, утки из водонесущих коммуникаций и др. Общее истощение пляжей по Западному побережью Крыма является основой нарастания нарушенности экологического состояния, что требует принятия неотложных мер по стабилизации абразионно-оползневых процессов, оказывающих как положительное так и отрицательное влияние. Рассматриваемое побережье сложено комплексом галечниково-глинистых плиоценовых пород с суглинистым и глинистым заполнителем буровато-коричневого и красно-бурого цвета, местами цементированных, и являющихся источником

поступления гравийно-галечникового материала в пляжную зону (табл. 1) [8].

**Таблица 1.** Характеристика возраста и литологического состава пород береговых обрывов Западного побережья [8]

**Table 1.** Characterization of age and lithological composition of rocks of coastal cliffs of the West Coast [8]

№ п/п	Наблюдаемый участок	Возраст пород	Литология
4	Участок между пос. Песчаное и Береговое	Q <sub>1</sub>	Галечники 5-ой Булганакской террасы с суглинистым заполнителем, местами сцементированные
5	Участок к северу от п. Песчаное	Q <sub>1</sub>	Суглинки буровато-серые с прослоями и линзами галечников, в основании разреза – глины буровато-коричневые и красно-бурые
6	Участок между с. Береговое – пгт. Николаевка	N <sub>2</sub> <sup>3</sup>	Глины желтовато-бурые, суглинки серые и желтые с прослоями гравийно-галечниковых отложений

В верхнеплиоценовых глинах встречаются линзы песчаников и конгломертов, повышающие прочность пород в обрыве, что способствует образованию мысов и мысоподобных выступов (мысоподобный выступ у с. Береговое).

Одним из перспективных рекреационных участков является рекреационная зона с. Береговое в устье реки Западный Булганак.

Участок рекреационной зоны с. Береговое является оползне- и абразионноактивным. Абразионные процессы на побережье приводят к возникновению оползней на клифах и создают угрозу для отдыхающих в рекреационных зонах. В районе с. Береговое объемы обвалов на незакрепленном участке составили 500-600 м<sup>3</sup>. Максимальная величина отступления клифа в Береговом в результате абразии составила 2,5 м.

Пляжи распространены повсеместно, ширина средняя 15-20 метров.

Использование рекреационной зоны в с. Береговое так же осложняется развитием оползней в береговом уступе, которые отличаются активностью, размерами и составом пород, вовлеченных в смещение.

Результаты проведенных авторами наблюдений подтверждают, что на анализируемом участке Западного побережья Крыма в активизации оползневых процессов преобладает техногенный фактор из-за подсечек и пригрузок склонов сооружениями, отвалами грунта и др., утечек из водонесущих коммуникаций и др., что требует натурных исследований параметров и оценки

физического риска и экономического ущерба потери территории от оползней.

Линейная пораженность оползнями достигает здесь 11%. Базисом смещения оползней 1-ой группы является современный уровень моря. Длина оползней по оси от 18 до 180 м, ширина от 25 м до 2600 м, площадь изменяется от 1000 м<sup>2</sup> до 48000 м<sup>2</sup> [8]. Характерными признаками оползней первой группы является их фронтальность в плане и ступенчатость по оси. Число ступеней – 1-2. Ширина ступеней по оси измеряется от 5-10 до 20-30 м., уклон их поверхности обратный, до минус 2°-7°. Блок отседает по крутопадающей трещине (70°-90°), стенка которой долго сохраняет значительную высоту (до 15-20 м) и крутизну 70°-90°, сложенная песчано-глинистыми разностями и испытывающая неравномерные деформации растяжения, она быстро меняет начальный облик.

В Западной прибрежной рекреационной зоне Крыма обвалы формируются в основном в абразионных уступах, сложенных верхнеплиоценовыми континентальными отложениями. В течение года обвалы наиболее часто происходят в зимне-весенний период, при наиболее сильных волнениях моря и повышенной влажности пород.

Для сохранения привлекательности и возможности рекреационного использования территории ООО ЦНТУ «ИНЖЗАЩИТА» выполнены научные исследования и проектные работы на участке берега в с. Береговое [9]. Так как на всем протяжении участка уже построена гидротехническая стена набережной, наиболее рациональным способом берегозащиты и экономически обоснованным выбрана защита ее основания от подмыва – создание волногасящей конструкции, воспринимающей волновую нагрузку и защищающей набережную от разрушения. В качестве такой конструкции реализован прислоненный искусственный пляж или каменно-набросная берма. Однако защита каменной наброской не может быть использована в рекреационных целях для купания. Созданный искусственный пляж, на основе результатов исследований, выполненных методом математического моделирования, предложено эффективно закрепить с помощью устройства дополнительных сооружений от его вдольберегового перемещения — бунами.

До выполнения проектных работ на участке построена волнозащитная стена и частично корневые части четырех бун. Однако пляж перед стеной отсутствует. Это в значительной степени снижает рекреационную привлекательность берега, а также угрожает его размывом и разрушением расположенных на нем объектов.

В рамках проекта реконструкции предусмотрено строительство новой волнозащитной стены (фото 1).

Поверх существующей откосно-ступенчатой стены должен отсыпаться несортированный камень, поверх которого должна устраиваться набережная;

далее отсыпаться искусственный пляж. Так же предусматривалось строительство пяти бун длиной по 55 м на длине 260 м (северная часть) с шагом (межбунные отсеки) 65 м. Головные части бун выходят на глубину порядка 3.0 м;



Фото 1. Реализованный проект берегозащиты с.Береговое

Fig. 1. Implemented shore protection project in Beregovoye

В южной части предусматривалось устройство набережной длиной 130 м под защитой волногасящей бермы шириной 6.0 м из камня.

Согласно предпроектным проработкам конфигурация сооружений следующая (с юга на север):

- волногасящая берма из наброски камня длиной 10.0 м. Прикрывает северный фланг проектного участка;
- пять бун длиной по 55 м с шагом 65 м. Общая длина бунного поля – 260 м;
- волногасящая берма длиной 135 м, включая фланговый откос.

Результаты моделирования [9] динамики пляжа при предпроектной конфигурации пляжеудерживающих сооружений показали, что предпроектная конфигурация сооружений с учетом использования уже построенной корневой части 4 - й буны, обеспечивает полную устойчивость проектного пляжа как в отдельных штормах от основных волноопасных направлений, так и при проходе последовательности штормов.

Таким образом, реализован научно обоснованный проект строительства берегоукрепительных сооружений: первая буна (северная) имеет длину 63 м; длина 1-го межбунного отсека – 97.5 м, вторая буна имеет длину 63 м; длина 2-го межбунного отсека -97.5 м, третья буна имеет длину 60 м; - длина 3-го межбунного отсека – 65 м, длина четвертой буны – 55 м.

На основании анализа предложенного проекта восстановления пляжной полосы, воссоздание размытых пляжей, а также их стабилизация на участках размыва в с. Береговое сохранена и расширена рекреационная зона на одном из участков западного побережья Республики Крым.

Данный проект был реализован в 2021 году [6] и технически является типовым. «На основании исследований, проведенных авторами защита берега при применении этого решения носит локальный характер и не рекомендуется нормативными документами при наличии вдольберегового потока наносов. В условиях

преобладающего вдольберегового переноса в северном направлении уже в процессе строительства входящий южный угол начал заполняться пляжным материалом, а на северной границе участка активизировались абразионные процессы, в результате чего пляж к северу от набережной исчез, и понадобилось устройство каменной глыбовой наброски, защищающей северный торец набережной» [6, с. 5].

Представленные результаты анализа реализованного проекта берегозащиты в с. Береговое, выполненные Горячкиным Ю.Н. и Марковым А.А. совпадают с оценками экспериментальных исследований процессов пляжеобразования, проведенных в Институте «Академия строительства и архитектуры» (представлены параметры экспериментальной модели и результаты экспериментов)[10].

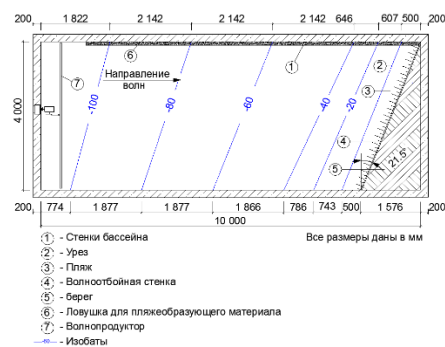


Рис. 1. Схема плана экспериментальной модели  
Fig. 1. Scheme of the experimental model plan

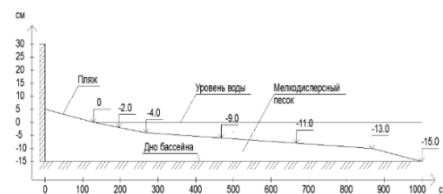


Рис. 2. Схема профиля экспериментальной модели  
Fig. 2. The profile diagram of the experimental model

Отметим, что сконцентрированная преимущественно в пределах небольшой по ширине прибрежной полосы индивидуальная инженерная защита не всегда рациональна и влияет на формирование экологического состояния, как сухопутной части береговой зоны, так и прибрежной зоны моря.

Вмешательство в природные процессы с целью расширения прибрежных рекреационных зон и осуществления защиты берегов от разрушения определяет обязательное научное обоснование предлагаемых технических решений и соблюдение действующих нормативных документов в области экологической безопасности, согласование проектируемых технических решений с природными элементами. Берегозащитные сооружения должны представлять комплекс объектов природоохранного назначения, направленных на сохранение природной среды прибрежных территорий и поддерживающих ее в естественном состоянии. Подтверждено

результатами наблюдений [1-8] - строительство поперечных пляжеудерживающих сооружений приводит к блокированию вдольберегового потока наносов и вызывает увеличение скорости отступления клифов за пределами закрепленного участка.

Предложенная в с.Береговое схема берегозащиты в полной мере не учитывает реальные литодинамические условия, существующий опыт строительства и эксплуатации берегозащитных сооружений, а реализация предлагаемых проектных решений будет способствовать активизации процессов абразии как на участке строительства, так и на смежных участках. На устранение нарушений пляжа потребуются существенные финансовые вложения.

Учитывая наличие комплекса проблем разработки, строительства и эксплуатации современных берегозащитных инженерных сооружений в рекреационных зонах Крыма, с целью активизации взаимодействия представителей государственных органов управления и строительного комплекса региона с научными разработками эколого-инженерных конструктивов берегозащитных и инженерных сооружений по результатам проводимых в Институте «Академия строительства и архитектуры» ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» исследований по проблемам устойчивого развития региона для обеспечения экологической безопасности урбанизированных рекреационных территорий Республики Крым проведен «Открытый диалог по проблемам инженерной защиты урбанизированных прибрежных территорий Крыма». В обсуждении вопросов приняли участие представители Комитета Государственного Совета Республики Крым по строительству, жилищной политике и топливно-энергетическому комплексу; Министерства жилищной политики и государственного строительного надзора Республики Крым; Министерства строительства и архитектуры Республики Крым; Министерства курортов и туризма Республики Крым; Администрации г. Алушта, строительных фирм Крыма. Были представлены результаты исследований и разработки конструкций берегозащиты с учетом экологических требований создания биопозитивных инженерных сооружений. Интерес застройщиков и представителей администрации вызвали предложения по строительству водопроницаемых габионов-аналогов естественных подводных монолитов, применение которых способствует сохранению движения наносов пляжевого материала при значительном гашении волнового воздействия на береговую линию.

## ВЫВОДЫ

Результаты анализа сложившихся проблем природопользования относительно состояния природных условий береговой зоны западного побережья Крымского полуострова, проведенных

экспериментальных исследований и подходов к конструированию биопозитивных берегозащитных сооружений в Западной рекреационной зоне Крыма, подтверждают необходимость организации комплексных исследований природных процессов в береговой зоне моря, что позволит проектировать оптимальные инженерные сооружения для обеспечения экологической безопасности на приморских территориях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иваненко, Т. А. Результаты реконструкции объектов берегозащиты / Т. А. Иваненко // Методология безопасности среды жизнедеятельности : сборник научных трудов XVII Международной научно-практической конференции, Симферополь, 14–17 октября 2024 года. – Симферополь: ИТ «Ариал», 2024. – С. 184–187.
2. Иваненко Т. А. Инженерно-геологические особенности побережья Западного Крыма / Т. А. Иваненко // Строительство и техногенная безопасность. — 2012. — Вып. 43. — С. 85—92.
3. Ветрова Н. М. Экологические основы выбора берегоукрепительных сооружений при реконструкции пляжей крымского побережья / Н. М. Ветрова, Э. Э. Меннанов, Т.А. Иваненко, А. А. Гайсарова // Строительство и техногенная безопасность. – 2024. – № 33(85). – С. 91-102. – DOI 10.29039/2413-1873-2024-33-91-102.
4. Горячкин Ю.Н. Берегозащитные сооружения Крыма: Западное побережье, часть 1 / Ю.Н. Горячкин // Гидротехника. –2016. –№ 1. – С. 49–54.
5. Горячкин Ю.Н. Берегозащитные сооружения Крыма: Западное побережье, часть 2 / Ю.Н. Горячкин // Гидротехника. –2016. –№ 2 (43). –С. 38–43.
6. Горячкин, Ю.Н. Анализ эффективности реконструкции берегозащитных сооружений Крыма / Ю.Н. Горячкин, А.А. Марков // Гидротехника. –2023. –№ 3. –С. 2–9.
7. Ветрова Н. М. Проблемы зон экологического риска на приморских территориях Крыма / Н. М Ветрова, Т. А. Иваненко, А. А. Гайсарова, Э. Э. Меннанов // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2019. – № 2(26). – С. 59-73. – DOI 10.21869/23-11-1518-2019-26-2-59-73.
8. Иваненко Т. А., Геоморфология и динамика берегов Западного Крыма / Т. А. Иваненко, З. Д. Сапронова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. — 2011. — Вып. 25. — С. 19—25.
9. Макаров, К.Н. Новые рекреационные пляжи на побережье Крыма / К.Н. Макаров, Г.А. Ковшик // Гидротехника. — 2016. — №4. — Р. 64–67.
10. Ветрова, Н.М. Экспериментальные исследования экологического состояния приморских урбанизированных рекреационных

территорий при применении биопозитивных берегозащитных сооружений [Текст] / Н.М. Ветрова, Э.Э. Меннанов // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. — 2020. — № 1 (29). — С. 85—96 DOI: 10.21869/2311-1518-2020-29-1-85-96

## REFERENCES

1. Ivanenko T. A. Results of reconstruction of coastal protection facilities / T. A. Ivanenko // *Methodology of Life Environment Safety : Collection of scientific papers of the XVII International Scientific and Practical Conference. Simferopol, 14–17 oct 2024. – Simferopol: Arial, 2024. – P. 184-187*
2. Ivanenko T. A. Engineering and geological peculiarities of the coast of the Western Crimea / T. A. Ivanenko // *Construction and Environmental Management. — 2012. — Vol. 43. — P. 85—92.*
3. Vetrova N. M. Ecological bases for the choice of shore protection structures during the reconstruction of Crimean coastal beaches / N. M. Vetrova, Э. Э. Меннанов, Т. А. Иваненко, А. А. Гайсарова // *Construction and Environmental Management. – 2024. – № 33(85). – P. 91-102. – DOI 10.29039/2413-1873-2024-33-91-102.*
4. Goryachkin Y.N. Coastal protection structures of Crimea: West Coast, Part 1 / Y. N. Goryachkin // *Hydrotechnics. –2016. –№ 1. –P. 49–54.*

5. Goryachkin Y.N. Coastal protection structures of Crimea: West Coast, Part 2 / Y. N. Goryachkin // *Hydrotechnics. –2016. –№ 2 (43). –P. 38–43.*

6. Goryachkin Y.N. Analysis of the efficiency of reconstruction of coastal protection structures in Crimea / Y. N. Goryachkin, A.A. Markov // *Hydrotechnics. –2023. –№ 3. –P. 2–9.*

7. Vetrova N. M. Problems of environmental risk zones in the coastal territories of Crimea / N. M. Vetrova, T. A. Ivanenko, A. A. Gaysarova, E. E. Mennanov // *Biosphere compatibility: man, region, technology. – 2019. – № 2(26). – P. 59-73. – DOI 10.21869/23-11-1518-2019-26-2-59-73.*

8. Ivanenko T. A. Geomorphology and Coastal Dynamics of the Western Crimea / T. A. Ivanenko, Z. D. Sapronova // *Environmental safety of coastal and shelf zones and integrated use of shelf resources. — 2011. — Vol. 25. — P. 19—25.*

9. Makarov K.N. New recreational beaches on the coast of Crimea / K.N. Makarov, G.A. Kovshik // *Hydrotechnics.— 2016.— №4.— P. 64-67.*

10. Vetrova N. M. Experimental studies of the ecological condition of seaside urbanized recreational areas under the application of biopositive coastal protection structures / N. M. Vetrova, E. Mennanov // *Biosphere compatibility: man, region, technology. — 2020. — № 1 (29). — P. 85—96 DOI: 10.21869/2311-1518-2020-29-1-85-96*

## ENGINEERING AND ECOLOGICAL ASPECTS OF RECONSTRUCTION OF COASTAL PROTECTION PROJECTS

Ivanenko<sup>1</sup> T.A., Vetrova<sup>2</sup> N.M.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Institute "Academy of Construction and Architecture"  
181, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493 E-mail: <sup>1</sup>xaoc.vetrova.03@mail.ru; <sup>2</sup>sapronovat@mail.ru

**Abstract.** In this article pays attention to the problems of recreational use of sea shores. Two main and to some extent contradictory tasks are considered: on the first side, to better meet the demand of the population for recreation on water bodies and, on the other side, to reduce the negative impact of recreation on coastal and aquatic ecosystems. The complex demonstration of interrelated natural processes determines the nature of material and energy flows in the coastal zone and forms its background ecological state. By engineering means on the coast it is recommended to form such a situation, which would be most favorable to the natural course of natural coastal processes. For this purpose, structures are used: breakwaters, artificial spits, islands - artificial atolls and others. This method of engineering development is very promising for the creation of new coastal protection structures. Analyzed the existing problems of nature management otnovsicheskogo state of natural conditions of the coastal zone of the western coast of the Crimean peninsula, the features of anthropogenic impact and characteristics of the engineering solutions used coastal protection on the coast near the Beregovoye. Possible constructive solutions of coastal protection to improve the ecological condition of this recreational zone are considered.

**Materials and methods:** the basis of the presented research is based on traditional methods: analysis, systematization, generalization of published and stock materials, cartographic and mathematical modeling, system analysis, cartographic and computer technologies.

**Results:** one of the promising recreational areas is the recreational zone of Beregovoye at the mouth of the West Bulganak River. Beregovoye at the mouth of the West Bulganak River, but this area is landslide and abrasion-active. Abrasion processes on the coast lead to the occurrence of landslides on cliffs and pose a threat to vacationers in recreational areas. It is expedient to carry out measures on coastal protection. The implemented project and its schemes are analyzed.

**Conclusions:** the results of the analysis of the existing problems of nature management regarding the state of natural conditions of the coastal zone of the western coast of the Crimean Peninsula, conducted experimental studies and approaches to the design of biopositive coastal protection structures in the Western recreational zone of Crimea, confirm the need to organize complex studies of natural processes in the coastal zone of the sea, which will allow to design optimal engineering structures to ensure environmental safety on the coastal territories.

**Key words:** coastal recreational zone, natural conditions, coastal protection structures, shore protection, shore stabilization, abrasion and landslide processes, biopositivity.

## СОСТОЯНИЕ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ КРЫМА ПРИ ИХ РЕКРЕАЦИОННОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ

Меннанов<sup>1</sup> Э.М., Меннанов<sup>2</sup> Э. Э.

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», Академия строительства и архитектуры.  
г. Симферополь, ул. Киевская, 181, e-mail: <sup>1</sup> mennanov.elmar@mail.ru, <sup>2</sup> mennanov.emran@mail.ru

**Аннотация.** Морские берегозащитные сооружения Крыма играют ключевую роль в сохранении прибрежных территорий от эрозии, штормовых нагонов и других природных воздействий. Их состояние напрямую влияет на устойчивое развитие прибрежных зон. Автором рассмотрены особенности формирования прибрежных зон. Понимание формирования влияет на возможность управления прибрежными экосистемами. Приведены результаты исследований в области защиты берегов в рекреационных зонах. Проанализированы факторы, влияющие на состояние прибрежных зон, такие как природные и антропогенные, к которым относят формы рельефа, повышение уровня моря, влияние биологической среды, а также обустройство прибрежных зон человеком (возведение населенных пунктов, строительство портовой инфраструктуры, берегоукрепительных сооружений).

**Предмет исследования:** Состояние прибрежных территорий Крыма с учетом берегозащитных сооружений.

**Материалы и методы:** В ходе исследования применялся метод анализа данных, полученных при натурных обследованиях приморских территорий. Для выявления закономерности развития рекреационных территорий применяется сравнительный анализ состояния факторов развития. В данном исследовании применен комплексный подход, основанный на анализе и систематизации данных, выявленных в научной и нормативной литературе, информационных ресурсах и средствах массовой информации.

**Результаты:** Морские берегозащитные сооружения Крыма представляют собой сложную систему инженерных конструкций, предназначенных для защиты береговой линии от разрушительного воздействия волн, штормов и эрозии. Результаты проведенного исследования позволили выявить ключевые проблемы, связанные с их целостностью, а также определить факторы, влияющие на их устойчивость.

**Выводы:** Выявлены особенности формирования береговой зоны, типизация берегов Крымского полуострова, а также особенности побережья в рекреационных зонах. Необходим комплексный подход к организации исследований, направленных на более глубокое изучение факторов, влияющих на формирование экологического состояния рекреационных зон, а также разработки конструкций берегозащиты. Также исследования должны строиться с учетом недостаточной изученности морфологических и экзогенных процессов морских берегов, что приводит к затруднению проведения проектных, строительных и ремонтных работ берегозащитных сооружений. Необходимы анализ и обобщение существующих исследований в области экологической безопасности строительства берегозащитных сооружений, а также глубокое исследование морфологических и экзогенных процессов морских побережий.

**Ключевые слова:** берег, береговая зона, берегозащита, берегоукрепление, биопозитивность, пляж, прибрежная зона, рекреация, рекреационная зона, экологическая безопасность.

### ВВЕДЕНИЕ

Формирование прибрежной зоны – сложный процесс, зависящий от взаимодействия множества природных и антропогенных факторов. Его понимание критически важно для управления прибрежными экосистемами и планирования развития прибрежных территорий, особенно в свете изменения климата и роста населения.

С развитием урбанизации прибрежных районов началось проведение первых исследований закономерностей береговых линий [1, 2]. Эти исследования изначально охватывали общегеографические и гидрографические аспекты, а позже сосредоточились на гидродинамике и гидрофизике [3, 4, 5, 6]. Позже, с появлением первых сооружений для защиты и укрепления берегов [7, 8], возникли проблемы их эксплуатации. Эти проблемы касаются, в том числе, обеспечения экологической безопасности как в процессе строительства, так и во время эксплуатации этих объектов [9]. Система воздействия природных и антропогенных факторов вызывает износ и нестабильность таких конструкций. Невозможность

своевременного ремонта приводит к частичному или полному разрушению, что определяет необходимость реконструкции берегозащитных сооружений на сегодняшний день. В условиях повышенной значимости экологически ориентированных решений в обеспечении безопасности территории, на первый план выходят аспекты биопозитивности в процессе реконструкции берегозащитных и берегоукрепительных объектов.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В процессе инженерного преобразования окружающей среды в прибрежной зоне наблюдается нарастание экологических проблем, требующих внимания к вопросам экологической безопасности. Это стимулировало развитие комплексных исследований, направленных на охрану и восстановление природы прибрежных территорий, а также способствовало появлению нового направления в изучении береговых районов – природоохранного.

Монография Г.А. Сафьянова "Береговая зона океана в XX веке" [10] является одним из первых научных трудов, посвященных разработке основ берегового природопользования в 1970-х годах. В данном исследовании освещаются вопросы использования подводных карьеров, строительства портов, создания инженерных сооружений для защиты берегов, а также уменьшения загрязнения прибрежной зоны.

Исследования по рациональному использованию и охране природной среды в береговых районах проводил В.А. Дергачев [11], изучавший эколого-экономические аспекты береговых территорий. Он внёс вклад в определение нового понятия "природно-хозяйственная контактная зона" между сушей и океаном как зоны интенсивного взаимодействия людей, хозяйства и окружающей среды. В своей работе "Эколого-экономические проблемы морской среды", опубликованной в 1982 году, он затрагивает вопросы рационального использования, охраны природы и развития прибрежных районов.

Значительный вклад в развитие теории о динамике морских берегов и её применение при решении задач берегоукрепления и строительства причальных сооружений внесли такие ученые, как П.К. Божич, Н.Н. Джунковский [12], А.М. Жданов [13], Б.А. Пышкин, Ю.М. Крылов, В.К. Штенцель, П.С. Никеров, Ф.М. Шихиев, и А.В. Мишин. Сегодня активно развивается научное направление "геоэкология берегов", которое представляет собой раздел геоэкологии, фокусирующийся на изучении негативного воздействия человеческой деятельности на экологическое состояние прибрежных районов.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе исследования применялся метод анализа данных, полученных при натурных обследованиях приморских территорий. Для выявления закономерности развития рекреационных территорий применяется сравнительный анализ состояния факторов развития. В данном исследовании применен комплексный подход, основанный на анализе и систематизации данных, выявленных в научной и нормативной литературе, информационных ресурсах и средствах массовой информации.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Крымский полуостров, омываемый Черным и Азовским морями, является уникальным регионом с богатой природной и культурной историей. Крымский полуостров обладает протяженной и разнообразной береговой линией общей длиной 1175 км. 945 км приходится на Черное море, а 230 км – на Азовское. Такое разнообразие обуславливает значительные различия в геоморфологии, гидрологии и климате отдельных

участков побережья, что необходимо учитывать при планировании любого хозяйственного воздействия и, особенно, при разработке стратегий устойчивого развития. Однако прибрежные территории подвержены интенсивным процессам эрозии, штормовым нагонам и другим природным воздействиям, которые угрожают инфраструктуре и экосистемам. Для защиты береговой линии на протяжении десятилетий строились различные берегозащитные сооружения, включая волноломы, буны и искусственные пляжи. Несмотря на их важность, многие из этих сооружений находятся в неудовлетворительном состоянии, что требует детального анализа их целостности и разработки мер по их восстановлению.

Условно, побережье Крыма делится на северное, западное, южное, юго-восточное и восточное. Рассмотрим подробнее особенности каждого из них.

Северное побережье. Это, пожалуй, наиболее динамичная часть крымского побережья, подразделяющаяся на северо-западный и северо-восточный участки.

Северо-восточное побережье (235 км). Характеризуется сравнительно слабой волновой активностью, особенно в районе Сивашского залива (рис. 1). Это связано с защитой, которую обеспечивает мелководность и обширная акватория залива. Однако, следует отметить, что в прошлом, Арабатская стрелка представляла собой цепочку островов, что приводило к значительно более сильному волновому воздействию. Современное состояние Арабатской стрелки – это результат сложных геологических процессов, включая аккумуляцию наносов, изменения уровня моря и влияние антропогенного фактора (например, строительство дамб и мелиоративные работы). Сейчас наблюдается тенденция к замедлению темпов эволюции берегов Сивашского залива, хотя процессы трансформации продолжают проявляться в медленном, но постоянном изменении береговой линии. Важным аспектом является анализ влияния изменения климата на этот регион, в частности, повышение уровня моря может изменить динамику береговой зоны. В связи с этим необходимы постоянные мониторинговые наблюдения, включающие анализ спутниковых снимков, измерения скорости эрозии и аккумуляции, а также моделирование будущих сценариев.



Рис. 1. Песчаные пляжи залива Сиваш. Северо-восточное побережье Крыма

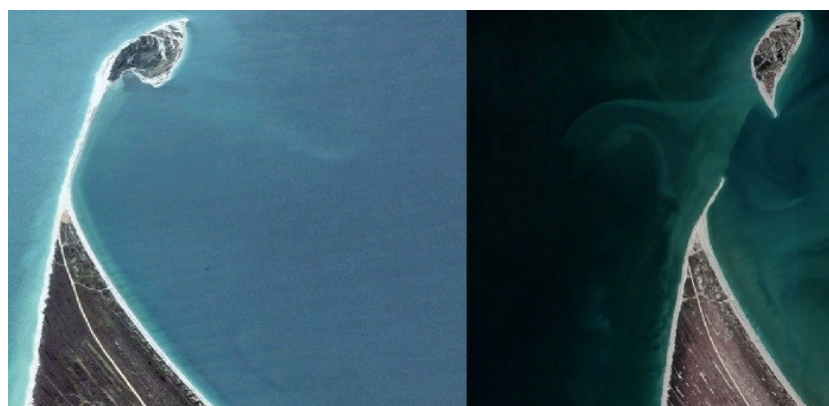
Fig. 1. Sandy beaches of the north-eastern coast of Crimea

Северо-западное побережье (178 км). Простирается от мыса Тарханкут до Перекопского залива. Здесь преобладает активный клиф, формирующийся под воздействием абразии и оползней (рис. 2). Геологическое строение, представленное легкоразмываемыми глинами и суглинками неогеновых пород, способствует интенсивному разрушению берега. Скорость абразии на склонах Каркинитского залива оценивается приблизительно в 0,1 м/год. Этот показатель, хотя и относительно невелик, свидетельствует о непрерывной трансформации береговой линии. Примечательно, что даже при практическом отсутствии значительных потоков наносов, происходят процессы аккумуляции,

образующие небольшие пляжи и косы. Для этой части побережья характерны ингрессионные бухты, формирующиеся в результате затопления речных долин. Необходимо отметить, что антропогенное воздействие, например, нерациональное использование земельных ресурсов в прибрежной зоне, может значительно ускорить процессы эрозии и деградации берега, что мы видим на примере Бакальской косы (рис. 3). Поэтому, планирование застройки и хозяйственной и промышленной деятельности в этой зоне должно учитывать особенности геологического строения и динамику береговой линии. Использование берегозащитных сооружений должно быть тщательно обосновано и учитывать экологические последствия.



**Рис. 2.** Активный клиф у мыса Тарханкут. Северо-западное побережье Крыма  
**Fig. 2.** An active cliff near Cape Tarkhankut. Northwest coast of Crimea



**Рис. 3.** Размытие Бакальской косы. Северо-западное побережье Крыма  
**Fig. 3.** Blurring of the Bakalskaya Spit. North-west coast of Crimea

Западное побережье Крыма характеризуется сложными структурными, тектоническими, геоморфологическими, литолого-стратиграфическими, гидрогеологическими, инженерно-геологическими и гидрометеорологическими условиями. Это побережье простирается на 55 км вдоль Каламитского залива, начиная от г. Севастополя и заканчивая в г. Евпатория. Экологические проблемы, связанные с утратой рекреационных ресурсов и ущербом для объектов в прибрежной зоне, становятся следствием оползней, вызванных природно-антропогенными факторами.

Исследования показывают, что процессы абразии, эрозии и нагужение склонов усиливаются из-за строительства жилых и рекреационных комплексов, а также создания дорожной инфраструктуры и коммуникационных сетей. Обвалы, как правило, формируются на абразионных уступах, состоящих из верхнеплиоценовых континентальных отложений. Наиболее активные их проявления наблюдаются в зимне-весенний период, когда море волнуется сильнее, а влажность пород возрастает. В некоторых районах залива, например у пгт. Николаевка и с. Песчаное (рис. 4), происходит активный процесс абразии пляжей, который

приводит к разрушению набережных. При отсутствии штормов, когда сила волн достигает 5 баллов и выше, интенсивность абразии остается низкой — от 0,1 до 0,8 м в год. Однако на некоторых участках Западного Крыма, например, в селе

Береговое и между озерами Богайлы и Кизыл-Яр, скорость размыва береговой линии достигает 3 м в год, с обвалами объемом до 1000 м<sup>3</sup>. Это создает серьезные риски и опасность для отдыхающих в рекреационных зонах.



**Рис. 4.** Разрушенная набережная и эрозия клифа в с. Песчаное. Западный берег Крыма  
**Fig. 4.** Destroyed embankment and cliff erosion in Peschanoye village. Western coast of Crimea

Южное побережье. Этот участок отличается более сложным рельефом, наличием горных массивов, приближающихся к морю, и, как следствие, более разнообразными морфологическими особенностями. Южное побережье, известное своими живописными ландшафтами и курортами, характеризуется сочетанием скалистых участков и узких песчаных пляжей. Южный берег Крыма отличается значительной сейсмической активностью, в среднем достигающей 8 баллов, хотя в некоторых местах этот уровень может варьироваться на 1-2 балла. Землетрясения приводят к разрушению связей в горных породах и создают дополнительные силы сдвига на склонах, что является одним из факторов, способствующих образованию оползней. Важно отметить, что сейсмическое влияние на оползневые склоны накапливается и зависит от подготовки

склонов к смещению при воздействии других факторов.

Сложный рельеф в совокупности с отсутствием естественной подпитки пляжей приводит абразии берегов, а в последствии к разрушению берегоукрепительных сооружений (рис. 5) и играет важную роль в образовании оползней на Южном берегу Крыма, ухудшая напряженное состояние береговых склонов и способствуя формированию оползневых процессов. В зависимости от типа, размера и структуры оползней ее влияние может значительно различаться. Она является ключевым фактором для небольших «абразионных» оползней, однако для крупных систем важна только в нижних, прибрежных зонах, где воздействие волн особенно заметно. На образование оползней типа «потоков» и сплывов ее влияние минимально. Необходим строгий контроль за застройкой, чтобы предотвратить разрушение береговой линии.



**Рис. 5.** Разрушенные буны в районе г. Ялта. Южный берег Крыма  
**Fig. 5.** Destroyed groynes in the area of Yalta. South coast of Crimea

Юго-восточное характеризуется разнообразием ландшафтов: от песчаных и галечных пляжей до скалистых обрывов. Береговая линия подвержена воздействию Черного моря, которое оказывает значительное влияние на формирование рельефа. Основными природными факторами, влияющими

на состояние берега, являются волновая активность моря, течения. Пляжи юго-восточного Крыма являются важным рекреационным ресурсом. Однако их состояние вызывает серьезные опасения. В результате антропогенной нагрузки и природных процессов наблюдается сокращение площади

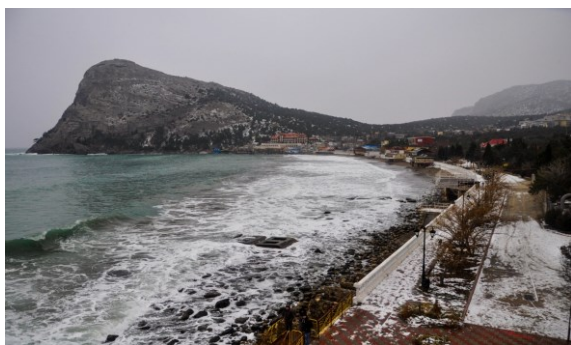
пляжей, ухудшение их качества и потеря рекреационной привлекательности (рис. 6):

– г. Феодосия – в районе Феодосии пляжи преимущественно песчаные, но их ширина сокращается из-за размыва и недостаточного поступления наносов.

– пгт. Коктебель – здесь преобладают галечные пляжи, которые также подвержены эрозии. Активное строительство в прибрежной зоне усугубляет ситуацию.

– г. Судак – пляжи Судака страдают от недостатка естественного пополнения наносами, что приводит к их постепенному исчезновению.

Для защиты береговой линии от разрушения в регионе используются различные типы берегозащитных сооружений, такие как волноломы, буны, подпорные стенки и искусственные пляжи. Однако их эффективность зачастую оказывается недостаточной из-за неправильного проектирования, недостаточного финансирования и отсутствия комплексного подхода.



**Рис. 6.** Береговая зона в районе пгт. Новый Свет. Юго-восточный берег Крыма

**Fig. 6.** Coastal zone in the area of the urban settlement Novy Svet. South-eastern coast of Crimea

Одним из значимых факторов, влияющих на экологическую безопасность прибрежных территорий, является возведение зданий и сооружений максимально близко к морю, что допускается строительными нормами. Масштабное строительство санитарно-курортных объектов в Крыму в советское время оказало заметное влияние на изменения в экологии побережья. Строительство набережных, приведшее к «переодеванию» берега в железобетонные конструкции, с одной стороны, увеличило площадь, доступную для использования, а с другой — увеличило нагрузку на береговую зону. Это в сочетании с волнами способствовало ускорению геоморфологических процессов (рис. 7). Специалисты отмечают, что достаточная ширина пляжа может эффективно защищать берег от размыва, поскольку энергия прибойных волн расходуется на истирание песка. Однако из-за быстрого исполнения берегозащитных мероприятий не всегда соблюдались экологические нормы, что ухудшило ситуацию.



**Рис. 7.** Аварийное состояние откосных сооружений в районе с. Песчаное, Республика Крым

**Fig. 7.** Emergency condition of slope structures in the area of the village of Peschanoye, Republic of Crimea

Берегозащитные сооружения играют важную роль в сохранении прибрежных территорий от разрушительного воздействия природных процессов, таких как эрозия, волновое воздействие и подтопление. Однако их экологическое состояние зависит от множества факторов, как природного, так и антропогенного характера.

## 1. Природные факторы

### 1.1. Гидродинамические процессы

Одним из ключевых природных факторов, влияющих на берегозащитные сооружения, являются гидродинамические процессы. Волновое воздействие, течения и штормовые нагоны могут вызывать механическое разрушение конструкций. Постоянное воздействие воды приводит к эрозии материалов, из которых построены сооружения, что снижает их долговечность и эффективность.

### 1.2. Климатические изменения

Глобальное изменение климата оказывает значительное влияние на прибрежные зоны. Повышение уровня моря, увеличение частоты и интенсивности штормов, а также изменения в режиме осадков могут усиливать нагрузку на берегозащитные сооружения. Например, повышение уровня моря приводит к увеличению глубины у основания сооружений, что может вызвать их просадку или разрушение.

### 1.3. Геологические процессы

Геологические факторы, такие как тектоническая активность, оползни и седиментация, также играют важную роль. Оползни могут привести к смещению береговой линии, что делает сооружения менее эффективными. Кроме того, накопление осадков вблизи сооружений может изменить гидродинамические условия, увеличивая нагрузку на конструкции.

### 1.4. Биологические факторы

Биологические процессы, такие как рост водорослей, моллюсков и других организмов на поверхности сооружений, могут ускорять их износ. Биообрастание не только увеличивает вес конструкций, но и способствует химической коррозии материалов. Кроме того, корневые системы растений могут проникать в трещины, расширяя их и ускоряя разрушение.

## 2. Антропогенные факторы

### 2.1. Загрязнение окружающей среды

Антропогенное загрязнение, включая сброс промышленных отходов, нефтепродуктов и тяжелых металлов, оказывает негативное влияние на экологическое состояние береговой зоны. Химические вещества могут вызывать коррозию металлических элементов, а также ухудшать качество воды, что влияет на биоразнообразие в прибрежной зоне.

#### 2.2. Недостаточное техническое обслуживание

Отсутствие регулярного технического обслуживания и ремонта берегозащитных сооружений является одной из основных причин их деградации. Со временем материалы теряют свои свойства, а повреждения, вызванные природными факторами, усугубляются. Это может привести к полному разрушению сооружений и увеличению риска для прибрежных территорий.

#### 2.3. Нерациональное использование прибрежных зон

Антропогенная деятельность, такая как строительство, добыча песка и гравия, а также изменение естественного стока рек, может нарушать баланс прибрежных экосистем. Это приводит к изменению гидродинамических условий, усилению эрозии и снижению эффективности берегозащитных сооружений.

#### 2.4. Изменение ландшафта

Человеческая деятельность, включая урбанизацию и сельское хозяйство, часто приводит к изменению ландшафта прибрежных зон. Уничтожение естественных барьеров, увеличивает нагрузку на искусственные сооружения. Кроме того, изменение рельефа может привести к изменению направления течений и усилению волнового воздействия.

Одним из ключевых подходов к снижению воздействия природных и антропогенных факторов является комплексное проектирование берегозащитных сооружений. Это включает использование экологически безопасных материалов, учет климатических изменений и интеграцию природных решений.

Регулярное техническое обслуживание и мониторинг состояния сооружений позволяют своевременно выявлять и устранять повреждения. Это помогает продлить срок службы сооружений и снизить риск их разрушения.

Повышение осведомленности о важности берегозащитных сооружений и внедрение строгих экологических стандартов могут способствовать снижению антропогенного воздействия. Это включает регулирование строительства, добычи полезных ископаемых и сброса отходов в прибрежных зонах. Для защиты берега от эрозии считается необходимым наличие пляжа достаточной ширины, поскольку энергия приливных потоков гасится путем истирания песчаного материала. К сожалению, быстрые темпы строительства в условиях ограниченного финансирования часто не учитывали экологические требования, что обострило экологическую ситуацию в прибрежной зоне.

Современные берегозащитные сооружения на полуострове, рассчитанные на срок службы 25 лет, эксплуатируются уже 30-40 лет без необходимых ремонтов: только 38,6 % из них находятся в удовлетворительном состоянии. Необходимы регулярные мониторинги и своевременные ремонты для предотвращения аварийных ситуаций.

В заключение, следует отметить, что комплексный подход к управлению прибрежными зонами Крыма, включающий детальное изучение геоморфологических процессов, мониторинг состояния береговой линии, учет антропогенного воздействия и прогнозирование влияния климатических изменений, является крайне важным для обеспечения устойчивого развития региона. Только комплексное использование современных методов исследования и грамотное планирование позволят сохранить уникальные природные ресурсы Крыма для будущих поколений. Более того, необходима интеграция научных знаний, разработка и внедрение эффективных методов берегозащиты с учетом специфики каждого участка побережья, а также повышение экологической осведомленности населения и туристов.

## ВЫВОДЫ

Обобщая, выявлены особенности формирования береговой зоны, типизация берегов Крымского полуострова, а также особенности побережья в рекреационных зонах. Необходимо организовать исследования экологического состояния рекреационных зон, а также разрабатывать конструкции берегозащиты. Также исследования должны строиться с учетом недостаточной изученности морфологических и экзогенных процессов морских берегов, что приводит к затруднению проведения проектных, строительных и ремонтных работ берегозащитных сооружений. Необходимы анализ и обобщение существующих исследований в области экологической безопасности строительства берегозащитных сооружений, а также глубокое исследование морфологических и экзогенных процессов морских побережий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шуйский, Ю. Д. Структуризация береговедения / Ю.Д. Шуйский, А.А. Стоян // Вестник Одесского национального университета. География. – 2010. – Т. 15, Вып. 10ю – С. 68–83
2. Gilbert, G. K. The topographic features of the Lake shores / G/ K Gilbert // U.S. Geology Survey. – 1885. – 5th Ann. Rept. – P.69–123
3. Инструкция для исследования морских берегов / [составил Ю.М. Шокальский]. – СПб.: Имп. рус. геогр. общ-во, 1888. – 200 с.
4. Daly, R. A. The glacial-control theory of coral reefs / R. F. Daly // Proc. Amer. Academ. arts & Sci. – 1915. – Vol. 51. – №4. – P.157–251

5. Hiroi, I. The force and power of Waves / I. Hiroi // *The Engineer*, August. – 1920. pp 184–187

6. Жданов, А. М. Волновые нагрузки, действующие на морские берегоукрепительные сооружения / А. М. Жданов // *Мон.* – М.: -1958. – 75 с.

7. Герсеванов, М. Н. Лекции о морских сооружениях / М.Н.Герсеванов – СПб.: Типография Н. Тиблена и Комп, 1862. – 415 с.

8. Мишин, А. В. Защита гидротехнических сооружений от разрушения при воздействии волн / А.В. Мишин, В.Ф. Пустовойт // *Гидротехническое строительство.* – 1975. – №5. – С. 34–35

9. Природопользование на Черноморском побережье Западного Крыма: современное состояние и перспективы развития. Под. ред. В.А. Иванова / В.А. Иванов, В.П. Ястреб, Ю.Н. Горячкин, А.В. Прусов, В.В. Зима, В.В. Фомин; НАН Украины, Морской гидрофизический институт. – Севастополь, 2006. – 324 с.

10. Сафьянов, Г. А. Береговая зона океана в XX веке / Сафьянов Г.А. – М.: Мысль, 1978. – 264 с.

11. Дергачев, В. А. Экономико-экологические проблемы морской среды / В.А. Дергачев, М.Т. Мелешкин, А.И. Уемов – К.: Наукова думка, 1982. – 224 с.

12. Божич, П. К. Морские наносы / П. К. Божич— М.-Л. : Изд-во Мин. реч. флота СССР, 1930.—300 с.

13. Жданов, А. М. Конструирование и расчет берегоукрепительных сооружений на основе закономерностей динамики берега / А. М. Жданов // *Труды Института океанологии АН СССР.* – 1954. – Т. 10. – С. 3– 15

13. Артемьева, А. М. Экологически опасные аспекты природно-хозяйственной деятельности в рекреационной зоне Автономной Республики Крым и пути повышения ее безопасности /А. М. Артемьева// *Строительство и техногенная безопасность.* – 2010. – Выпуск 33-34. –С. 196–205.

14. Зайцев, В. А. Региональная схема инженерной защиты Черноморского побережья Крымской области и Горного Крыма. / В.А. Зайцев, А.И. Максимова, А.Т. Рыбалка. – Симферополь: «Укрюжгипрокоммунстрой» Крымский филиал, 1989. – 114с.

15. Ветрова, Н. М. Экологические основы выбора берегоукрепительных сооружений при реконструкции пляжей крымского побережья / Н. М. Ветрова, Э. Э. Меннанов, Т. А. Иваненко, А. А. Гайсарова // *Строительство и техногенная безопасность.* – 2024. – № 33(85). – С. 91-102.

16. Современное состояние береговой зоны Крыма / под ред. Ю.Н. Горячкина. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2015. – 252 с.

17. Меннанов, Э. Э. Особенности инженерно-экологического обследования берегоукрепительных сооружений (на примере Крымского побережья) / Э. Э. Меннанов, Н. М. Ветрова, Э. М. Меннанов // *Экономика строительства и природопользования.* – 2022. – № 3(84). – С. 106-115.

18. Меннанов, Э. Э. Влияние берегозащитных сооружений на состояние экологической безопасности рекреационных территорий / Э.Э. Меннанов // *Техносферная безопасность рекреационного региона: теоретические основы, инженерные подходы.* – Симферополь : ПОЛИПРИНТ, 2023. – С. 88-93.

## REFERENCES

1. Shuysky, Yu. D. Structuring of Coastal Studies / Yu.D. Shuysky, A.A. Stoyan // *Bulletin of Odessa National University. Geography.* - 2010. - Vol. 15, Issue 10yu - P. 68-83

2. Gilbert, G. K. The topographic features of the Lake shores / G/ K Gilbert // *U.S. Geology Survey.* - 1885. - 5th Ann. Rept. - P.69-123

3. Instructions for the study of sea coasts / [compiled by Yu.M. Shokal'sky]. - St. Petersburg: Imperial Russian Geographic Society, 1888. - 200 p.

4. Daly, R. A. The glacial-control theory of coral reefs / R. F. Daly // *Proc. Amer. Academ. arts & Sci.* – 1915. – Vol. 51. – №4. – P.157–251

5. Hiroi, I. The force and power of Waves / I. Hiroi // *The Engineer*, August. – 1920. pp 184–187

6. Zhdanov, A. M. Wave loads acting on marine coastal protection structures / AM Zhdanov // *Мон.* – М.: -1958. – 75 p.

7. Gersevanov, M. N. Lectures on marine structures / Gersevanov MN. – SPb.: N. Tiblen and Comp. Printing House, 1862. – 415 p.

8. Mishin, A.V. Protection of hydraulic structures from destruction under the influence of waves / AV Mishin, VF Pustovoit // *Hydrotechnical construction.* – 1975. – №5. – pp. 34–35

9. Environmental management on the Black Sea coast of Western Crimea: current state and development prospects. Under. ed. V. A. Ivanova / V.A. Ivanov, V.P. Yastreb, Yu.N. Goryachkin, A.V. Prusov, V.V., Zima, V.V. Fomin; NAS of Ukraine, Marine Hydrophysical Institute. – Sevastopol, 2006. – 324 p.

10. Safyanov, G.A. Coastal zone of the ocean in the twentieth century / Safyanov G.A. – М.: Mysl, 1978. – 264 p.

11. Dergachev, V. A. Economic and environmental problems of the marine environment / V.A. Dergachev, M.T. Meleshkin, A.I. Uемов – К.: Naukova Dumka, 1982. – 224 p.

12. Bozhich, P.K. Marine sediments / Bozhich P.K. - M.-L.: Publishing house of the USSR Ministry of River Fleet, 1930. - 300 p.

13. Zhdanov, A. M. Design and calculation of coastal protection structures based on the laws of coastal dynamics / A.M. Zhdanov // *Transactions of the Institute of Oceanology of the USSR Academy of Sciences.* - 1954. - Vol. 10. - Pp. 3-15

13. Artemyeva, A. M. Environmentally hazardous aspects of natural and economic activities in the recreational zone of the Autonomous Republic of Crimea and ways to improve its safety // *Construction and technogenic safety.* - 2010. - Issue 33-34. -Pp. 196-205.

14. Zaitsev, V. A. Regional scheme of engineering protection of the Black Sea coast of the Crimean region and Mountain Crimea. / V.A. Zaitsev, A.I. Maksimov, A.T. Fishing. - Simferopol: "Ukryuzhgioprokommunistroy" Crimean branch, 1989. - 114 p.

15. Vetrova, N. M. Ecological bases for selection of coastal protection structures during reconstruction of beaches of the Crimean coast / N. M. Vetrova, E. E. Mennanov, T. A. Ivanenko, A. A. Gaisarova // Construction and technological safety. - 2024. - No. 33 (85). - P. 91-102.

16. Current state of the coastal zone of Crimea / edited by Yu.N. Goryachkin. - Sevastopol: ECOSI-Gidrophysics, 2015. - 252 p.

17. Mennanov, E. E. Features of engineering and environmental survey of coastal protection structures (on the example of the Crimean coast) / E. E. Mennanov, N. M. Vetrova, E. M. Mennanov // Economics of construction and nature management. - 2022. - No. 3 (84). - P. 106-115.

18. Mennanov, E. E. The influence of coastal protection structures on the state of environmental safety of recreational areas / E. E. Mennanov // Technosphere safety of the recreational region: theoretical foundations, engineering approaches. - Simferopol: POLIPRINT, 2023. - P. 88-93.

## THE STATE OF THE COASTAL AREAS OF CRIMEA DURING THEIR RECREATIONAL USE

Mennanov E.M., Mennanov E.E.,

V.I. Vernadsky Crimean Federal University.  
Simferopol, Kyiv St., 181, e-mail: mennanov.emran@mail.ru

**Abstract.** Crimean coastal protection structures play a key role in preserving coastal areas from erosion, storm surges and other natural impacts. Their condition directly affects the sustainable development of coastal zones. The author examines the features of coastal zone formation. Understanding the formation affects the ability to manage coastal ecosystems. The results of research in the field of coastal protection in recreational areas are presented. The factors influencing the state of coastal zones, such as natural and anthropogenic, which include relief forms, sea level rise, the influence of the biological environment, as well as the development of coastal zones by humans (construction of settlements, construction of port infrastructure, coastal protection structures) are analyzed.

**Subject:** The state of coastal protection structures in the coastal zones of Crimea and the factors influencing their state.

**Materials and methods:** The study used the method of analyzing data obtained during field surveys of coastal territories. To identify patterns in the development of recreational territories, a comparative analysis of the state of development factors is used. This study uses an integrated approach based on the analysis and systematization of data identified in scientific and regulatory literature, information resources and the media.

**Results:** The marine coastal protection structures of Crimea are a complex system of engineering structures designed to protect the coastline from the destructive effects of waves, storms and erosion. The results of the conducted research allowed to identify key problems related to their integrity, as well as to determine the factors affecting their stability.

**Conclusions:** The features of the formation of the coastal zone, the typification of the coast of the Crimean Peninsula, as well as the features of the coast in recreational areas have been identified. An integrated approach to organizing research aimed at a more in-depth study of the factors influencing the formation of the ecological state of recreational areas, as well as the development of coastal protection structures, is needed. Also, research should be based on the insufficient study of the morphological and exogenous processes of the sea coast, which leads to difficulties in carrying out design, construction and repair work on coastal protection structures. It is necessary to analyze and generalize existing research in the field of environmental safety of the construction of coastal protection structures, as well as an in-depth study of the morphological and exogenous processes of the sea coast.

**Key words:** Coast, coastal zone, coastal protection, coastal strengthening, biopositivity, beach, coastal zone, recreation, recreational zone, environmental safety.

СПИСОК АВТОРОВ

Акимов С.Ф.	к.т.н., доцент, институт Академия строительства и архитектуры Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
Ангелюк И.П.	к.т.н., Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
Бахтин А.С.	к.т.н., доцент, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь
Бахтина Т.А.	к.т.н., доцент, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь
Бекиров Э.А.	д.т.н., профессор, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
Белавский В.А.	ассистент кафедры строительных конструкций, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
Богущий Ю.Г.	старший преподаватель, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
Богущий Г.А.	заведующий лаборатории СК, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
Васильев М.В.	к.т.н., доцент, институт Академия строительства и архитектуры Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
Ветрова Н.М.	д.т.н., профессор, профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
Воскресенская С.Н.	к.т.н., доцент, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
Зайцев О.Н.	д.т.н., профессор, Юго-Западный государственный университет им. И.И. Ишутина, г. Курск
Иваненко Т.А.	к.т.н., Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь
Калафатов Д.А.	к.т.н., Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь.
Любомирский Н.В.	д.т.н., профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
Малюгин А.В.	обучающийся, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
Меннанов Э.Э.	к.т.н., Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь.
Меннанов Э.М.	к.т.н., доцент, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
Пашенцев А.И.	д.э.н., к.т.н., профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
Родин С.В.	к.т.н., доцент, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь.
Селимов М.Э.	обучающийся, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
Сидорова В.В.	кандидат архитектуры, доцент, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
Ткаченко О.Я.	обучающийся, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
Федоркин С.И.	д.т.н., Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
Федюшко Ю.М.	д.т.н., профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
Чунихин С.В.	директор, ООО «Фирма «Производственно-коммерческая организация «КРЫМ», г. Симферополь
Шаленный В.Т.	д.т.н., профессор, 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 – работодателем 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) сканированным виде (файл PDF).

## 2. Требования к оформлению статей

Статья будет рассмотрена редколлегией и рецензентами только при условии полного соответствия ее оформления изложенным ниже требованиям, предъявляемым к публикациям в научных журналах, индексируемых международными базами научного цитирования.

Все статьи, поступившие в редакцию журнала, получившие положительную оценку рецензентов и рекомендованные к публикации, проходят обязательную редакционную обработку (редактирование, корректуру, техническое редактирование). Внесение правки по замечаниям редактора согласовывается с автором.

Датой поступления статьи в редакцию считается дата поступления и регистрации в редакции окончательного авторского оригинала с учетом всех внесенных изменений по замечаниям рецензентов и редактора.

### Общие требования для подготовки статей

**Объем статьи**, включая таблицы, рисунки и фотографии должен быть не менее 6 страниц и не превышать 10 страниц.

**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 В5 (12,5 × 19,5 см). Шрифт заголовков столбцов и строк, содержания таблицы – обычный TNR 9 пунктов. Таблицы нумеруются арабскими цифрами.

**Рисунки и графики.** Рисунки и графики озаглавляются словом Рис.1 (шрифт – обычный TNR 9 пунктов) со следующим за ним номером с точкой. Рисунки выполняются в графических редакторах, совместимых с Word и размещаются по тексту. Под рисунком помещается подпись на русском и английском языках. Короткая подпись центрируется, а если длинная – форматируется с абзацем первой строки. Качество рисунков и графиков должно обеспечивать прочтение и тиражирование. Рисунки и графики нумеруются арабскими цифрами.

**Формулы.** Формулы набираются в редакторе формул Equation или Math Type. Использовать для набора формул графические объекты, кадры и таблицы запрещается. Формула располагается по центру строки, номер формулы (в круглых скобках, TNR 10 пт) – по правому краю страницы, от окружающего текста отделяется пустыми строками. Формульное окно принудительно растягивать или сжимать нельзя. Применение единиц измерений в международной системе СИ – обязательно.

### Обязательный порядок статьи.

- **УДК** в левом верхнем углу страницы, шрифт TNR 12 пт, прописными буквами
- **Название статьи шрифт** TNR 12 пт все прописными.
- **Имя и фамилия** автора(ов), шрифт обычный TNR 12 пт.
- **Место работы** авторов, шрифт обычный TNR 9 пт., адрес места работы, e-mail
- **Аннотация статьи (Abstract)** 200 – 250 слов, шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Предмет исследования (Subject 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.