

# СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

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

№ 21(73) – 2021

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

#### Учредитель:

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

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовым коммуникациям (Роскомнадзор).  
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-61830 от 18 мая 2015 г.

---

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

Индексируется в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)

Главный редактор

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

Заместители главного редактора:

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

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

Редакционная коллегия:

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

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

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

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

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

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

**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»;

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

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

**Нагаева З.С.**, советник РААСН, д.арх., проф.  
(КФУ им. В.И. Вернадского, Симферополь) – руководитель  
раздела «Градостроительство»

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

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

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

**Серпокрылов Н.С.**, д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону);

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

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

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

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

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

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

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

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

## СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 21(73) – 2021

научно-технический журнал

Печатается по решению научно-технического  
совета ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»  
(протокол № 4 от 04.06.2021)

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

Редакция Академии строительства и  
архитектуры (структурное подразделение)  
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»

Адрес редакции: 95006, Республика Крым,  
г. Симферополь, ул. Павленко, 3, корпус 2, к. 200,  
e-mail: rio@narks.ru

Подписан в печать 28.06.2021.

Формат 70×108/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная.  
Гарнитура Times New Roman. Усл.-печ. л. 12.5.  
Тираж 100 экз.

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

Издательство: ФГАОУ ВО «КФУ  
им. В.И. Вернадского»

<http://cfuv.ru>, [io\\_cfu@mail.ru](mailto:io_cfu@mail.ru)

(3652) 60-84-98,

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

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

Распространяется по подписке.

Подписка по каталогу агентства «Роспечать».

Подписной индекс: 64974 (полугодовая).

Стоимость 1 экз. журнала 227,0 руб.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

### **Раздел 1. Градостроительство**

<b>Сидорова В.В., Куприй А.П.</b> ГЕНЕРАЛИЗОВАННЫЕ СОЦИАЛЬНО-КУЛЬТУРНЫЕ ПОТРЕБНОСТИ В СИСТЕМЕ ОРГАНИЗАЦИИ ПРИМОРСКОЙ НАБЕРЕЖНОЙ ГОРОДА АЛУШТЫ	7
<b>Жиленко О.Б., Ниметуллаева У.М.</b> АДАПТАЦИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙ К НОВОЙ ФУНКЦИИ	17
<b>Живица В.В., Привалова Е.Н.</b> ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЕЁ РЕКОНСТРУКЦИИ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДОВ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ)	27
<b>А.И. Стрибань, Д.С. Мосякин</b> ОРГАНИЧЕСКАЯ АРХИТЕКТУРА И КЛАССИФИКАЦИЯ ЕЁ НАПРАВЛЕНИЙ	37
<b>Мосякин Д. С., Витэк О. И.</b> АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДВОРОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ СРЕДНЕЙ ЭТАЖНОСТИ. РЕКОНСТРУКЦИЯ КАК НОВАЯ ЖИЗНЬ СТАРЫХ ДВОРОВ	43
<b>Живица В.В., Поливанова М.Е.</b> СОВРЕМЕННЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ГОРОДСКИХ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОПЛАСТИКИ	49

### **Раздел 2. Строительство**

<b>И.В. Головченко</b> ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ МЕХАНИЗАЦИИ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ КАРКАСА 30-ТИ ЭТАЖНОГО МОНОЛИТНОГО ЖИЛОГО ДОМА	59
<b>Ковалёв А.А., Кутузов В.В., Елькина И.И.</b> ЗЕМЛЕРОЙНО-ПНЕВМОТРАНСПОРТНАЯ МАШИНА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ИЗВЕСТНЯКА-РАКУШЕЧНИКА	69
<b>Синцов А.В., Данченко Н.В., Синцов В.П.</b> К ВОПРОСУ СТРОИТЕЛЬСТВА ВОДОНАПОРНЫХ БАШЕН РОЖНОВСКОГО В КРЫМУ	81

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

<b>Бекиров Э. А., Каркач Д. В., Муртазаев Э. Р.</b> КОЛЕБАНИЕ ПОПЛАВКА ЭНЕРГОАГРЕГАТА НА ПОВЕРХНОСТИ ВОЛН	91
<b>Абдали Л. М., Исса Х.А., Али К.А., Кувшинов В.В., Бекиров Э.А.</b> АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОНОМНОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ MATLAB/SIMULINK	97
<b>Лахов А. Я., Лахов К. А.</b> ТРАНСЛЯЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОДНОКОНТУРНЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ КУПОЛОВ ИЗ ARCHICAD В НЕЙТРАЛЬНЫЙ STEP ФОРМАТ	107

<b><i>Николенко И.В., Котовская Е.Е., Будчаный А.О.</i></b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДА ГАРАНТИРОВАННОЙ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СХЕМЫ НА ОСНОВЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ	115
---	-----

<b><i>Селезнёв И.В., Конопацкий Е.В., Воронова О.С.</i></b> ВАРИАТИВНЫЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ МНОГОФАКТОРНЫХ ПРОЦЕССОВ	135
---	-----

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

<b><i>Николенко И.В., Копачевский А.М.</i></b> ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКИ КОМПЛЕКСА МЕР ПО РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМ ДЕФИЦИТА ВОДЫ В КРЫМУ	147
---	-----

<b><i>Список авторов</i></b>	161
------------------------------	-----

<b><i>Руководство для авторов</i></b>	162
---------------------------------------	-----

## CONTENT

### Section 1. Town planning

<b>V.V. Sidorova, A.P. Kupriy</b> GENERALIZED SOCIO-CULTURAL NEEDS IN THE ORGANIZATION SYSTEM OF THE PRIMORSKY EMBANKMENT OF THE CITY OF ALUSHTA	7
<b>Zhilenko O.B., Nimetullaeva U.M.</b> ADAPTING EXISTING BUILDINGS TO A NEW FUNCTION	17
<b>Zhivitsa V.V., Privalova E.N.</b> PROBLEMS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE AND RECOMMENDATIONS FOR ITS RECONSTRUCTION IN THE CONDITIONS OF A MODERN CITY (ON THE EXAMPLE OF THE CITIES OF THE REPUBLIC OF CRIMEA)	27
<b>Striban A. I., Mosyakin D. S.</b> ORGANIC ARCHITECTURE AND CLASSIFICATION OF ITS DIRECTIONS	37
<b>Mosyakin D. S., Vitek O. I.</b> CURRENT PROBLEMS OF YARD TERRITORIES OF MEDIUM-STOREY APARTMENT RESIDENTIAL BUILDINGS. RECONSTRUCTION AS A NEW LIFE OF OLD YARD	43
<b>Zhivitsa V.V., Polivanova M.E.</b> MODERN PRINCIPLES OF CREATING URBAN PUBLIC SPACES WITH GEOPLASTICS	49

### Section 2. Construction

<b>Golovchenko I.V.</b> CHOICE OF RATIONAL MECHANIZATION SCHEMES FOR ESTABLISHING THE FRAME OF A 30-STOREY MONOLITHIC RESIDENTIAL BUILDING	59
<b>Kovalyov A.A., Kutuzov V.V., Elkina I.I.</b> EARTHMOVING - PNEUMATIC CONVEYING MACHINE FOR PROCESSING LIMESTONE-SHELL WASTE	69
<b>Sintsov A.V., Danchenko N.V., Sintsov V.P.</b> TO THE QUESTION OF CONSTRUCTION OF WATER TOWER ROZHNOVSKY IN THE CRIMEA	81

### Section 3. Engineering Support

<b>Bekirov E. A., Karkach D. V., Murtazaev E. R.</b> POWER UNIT FLOAT OSCILLATION ON THE SURFACE OF THE WAVES	91
<b>Abdali L. M., Issa H.A., Ali Q. A., Kuvshinov V.V., Bekirov E.A.</b> ANALYSIS AND SIMULATION OFF-GRID PV PANELS BY USING MATLAB / SIMULINK ENVIRONMENT	97
<b>Lakhov A.Y., Lakhov K.A.</b> TRANSLATION OF GEOMETRIC MODELS OF SINGLE-CONTOUR GEODESIC DOMES FROM ARCHICAD TO A NEUTRAL STEP FORMAT	107

<i>Nikolenko I.V., Kotovskaya E.E., Budchany A.O.</i> DETERMINATION THE PERIOD OF GUARANTEED TROUBLE-FREE OPERATION OF THE HYDRAULIC SCHEMES BASED ON THE OPERATIONAL RELIABILITY INDICATORS OF PUMPING UNITS	115
--	-----

<i>Seleznev I.V., Konopatskiy E.V., Voronova O.S.</i> VARIATIVE GEOMETRIC ALGORITHMS FOR MODELING MULTIFACTOR PROCESSES	135
---	-----

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

<i>Nikolenko I.V., Kopachevsky A.M.</i> THE MAIN DIRECTIONS OF THE DEVELOPMENT OF A SET OF MEASURES TO decision THE PROBLEMS OF WATER SCARCITY IN THE CRIMEA	147
--	-----

<i>List of authors</i>	161
------------------------	-----

<i>Authors Guide</i>	162
----------------------	-----

## Раздел 1. Градостроительство

УДК 711.4

### ГЕНЕРАЛИЗОВАННЫЕ СОЦИАЛЬНО-КУЛЬТУРНЫЕ ПОТРЕБНОСТИ В СИСТЕМЕ ОРГАНИЗАЦИИ ПРИМОРСКОЙ НАБЕРЕЖНОЙ ГОРОДА АЛУШТЫ

Сидорова В.В.<sup>1</sup>, Куприй А.П.<sup>2</sup>

Академия строительства и архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»  
295493, Республика Крым, г. Симферополь, улица Киевская, 181  
E-mail: <sup>1</sup> nucikBBC@yandex.ru, <sup>2</sup> lenakupr2009@yandex.ru

**Аннотация.** В статье приводится краткий анализ социологического исследования, направленного на изучение социально-культурных потребностей и возможностей различных слоёв населения, заинтересованных в обновлении и поддержании структуры и уникальных качеств среды курорта города Алушты. В процессе исследования автором были выявлены следующие проблемы при эксплуатации набережной: социальные, экономические, эстетические, планировочные, нормативно-правовые. Анализ данных проблем помогает понять, какие решения уместны для определенного региона и определенной приморской набережной, какие действия помогут решить выявленные проблемы, а какие только усугубят их. Автор анализирует и систематизирует социально-культурные потребности в формировании качественной среды для отдыха и оздоровления населения. Детально рассмотрен вопрос причастности и ответственности граждан к курортному ресурсу. Результаты исследования позволяют составить проектное задание на реконструкцию Набережной г. Алушты на основе сформированного социального заказа, с последующим проектированием набережной, соответствующей мировым стандартам курортных городов. Проведенный анализ демонстрирует возможность получения информационной и доказательной базы социологического обоснования.

**Предмет исследования:** социальное видение направления преобразования курортной среды, а также готовность и степень соучастия в положительной динамике развития Набережной г. Алушты.

**Материалы и методы:** контент анализ существующей информации, метод наблюдения, метод социологического опроса (анкетирование, интервьюирование).

**Результаты:** В полной мере в последующем проекте реконструкции набережной предусмотрено достижение урбоэкологической синергии:

- цивилизационная культура потребления и распределение;
- социальная эффективность;
- эстетическое совершенство и уникальность.

**Выводы:** Комплексный анализ конкретного социологического заказа к проектной площадке позволяет выявить основную роль приморской набережной – главного общественного пространства курортного города.

**Ключевые слова:** градостроительство, набережная, реконструкция, благоустройство, социальный заказ, социологический опрос.

## ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия всеобщая туристическая и информационная мобильность населения позволяет дать социальную оценку конкурентности курортов в мировом масштабе, что выражается в форме рейтингов по различным критериям.

Одним из стратегических приоритетов развития Крымского региона является достижение эффективной пространственной организации общественной жизни, реализующей принципы высокого качества здорового образа жизни населения при успешной экономике и сбалансированном природопользовании.

С давних времен водоемы имеют большое значение в жизни людей и в структуре поселений, постепенно приобретая форму публичного пространства между городом и акваторией, оформленного в соответствии с природными возможностями и социальными потребностями. Как правило, в периоды социально-экономического благополучия протяжённое, пространство вдоль уреза воды обустроивается, приобретая форму набережной – места публичного контакта людей и

воды с целью организации здорового отдыха, купания, прогулок и любования, а также организации морских (речных) промыслов, коммуникационных узлов и прочего взаимодействия.

Набережная – это сооружение, окаймляющее часть береговой линии укрепляющее и предохраняющее берег от размыва, обеспечивающее безопасное и удобное передвижение вдоль берега, пересадку на водный транспорт и организацию водных процедур и развлечений.

Набережная решительно изменяет планировочную структуру и облик города, являясь одной из основных композиционно-планировочных осей раскрывающей уникальную морскую перспективу и застроенной по законам не только целесообразности, но и красоты.

В период социально-экономического кризиса, как любой искусственно созданный объект, набережная утрачивает эстетические, а затем и функциональные качества. Историческая реконструкция набережной требует коренных изменений структуры, содержания, эстетики

объекта в соответствии с современными требованиями и перспективными тенденциями.

В процессе комплексного анализа и оценки сложившейся ситуации набережной Алушты обнаруживаются следующие проблемы при её эксплуатации:

- социальные: неудовлетворенность качеством среды, низкие потребительские качества, отсутствие разнообразия в выборе услуг;

- экономические: отсутствие финансовых ресурсов на соответствующее содержание туристической зоны; несоответствие цены и качества предоставляемых услуг, контрастная сезонность туристических потоков;

- эстетические: отсутствие пространственной целостности архитектурного ансамбля набережной, утрата визуальных перспектив, раскрытий и акцентов, сокращение плотности озеленения, низкий уровень и обветшалость благоустройства и оборудования;

- планировочные: тенденция сокращения общественных пространств в пользу застройки и временной торговли при ограниченности территории;

- нормативно-правовые: несанкционированная застройка набережной, нарушение экологических нормативов.

Реконструкция и благоустройство набережной города Алушты является остроактуальной на сегодняшний день. Необходимо грамотное обустройство прибрежной зоны, которое будет соответствовать социальному заказу, поскольку набережная является главной рекреационной осью в курортном городе.

Данная программа социологического исследования направлена на изучение социально-культурных потребностей и возможностей слоёв населения, заинтересованных в обновлении и поддержании структуры и уникальных качеств среды курорта Алушта.

Полученные результаты исследования позволят сформировать социальный заказ и, на его основе, составить проектное задание на реконструкцию набережной г. Алушта, соответствующую мировым стандартам курортных городов.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Исследования, посвященные изучению реконструкции набережных, очень обширны и охватывают различные вопросы их формирования, современной организации и перспектив сохранения и развития.

Теоретические и практические проблемы организации пляжей проанализированы в работах В.Л. Болдырева и О.И. Рябковой [1], В.В.Сидоровой [12].

Вопросы реконструкции набережных рассматриваются в работах А.Я. Будинина [2], М.Ф. Денисова [3], Ф.Г. Кохновера [4], В.В.Сидоровой [13].

Теоретические и практические проблемы в проектировании курортных зон представлены в трудах ученых: Н.Н. Крамская [5], А.С. Рахуба [7], С.Ю. Трухачев [8].

В труде З. Кудиренко [6] большое внимание уделено истории развития набережной г. Алушты.

Шахова М.Е. [9] посвятила свои труды изучению прибрежной акватории моря (водно-туристические комплексы, яхтовые комплексы, аквапарки и др.).

Вопросы архитектурно-планировочной организации прибрежной застройки приморских городов освещены в работе Н.М. Яременко [10].

Социологическим исследованиям по прибрежным территориям посвящена статья [11] В.В.Сидоровой.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом данного исследования являются: местное население, туристы, представители бизнес-структур и администрации курортного округа.

Предметом исследования является социальное видение направления преобразования курортной среды, а также готовность и степень соучастия в положительной динамике развития набережной г. Алушты.

Гипотеза исследования. Набережная в курорте является главным местом притяжения туристов и от ее удобства и рациональности функционально-планировочной организации, перечня предоставляемых услуг и благоустройства зависит курортно-туристический потенциал и экономический эффект. При творческом учете генерализованных культурных потребностей всех социальных слоёв потребителей возможно создание уникального современного проекта курортной набережной, а успешная реализация и долговременная эксплуатация объекта зависит от готовности и степени соучастия заинтересованных лиц в современном менеджменте проекта.

Цель исследования. Выявить социально-культурные потребности в системе организации приморской набережной; причастности и ответственности граждан к курортному ресурсу, а также социально-культурные потребности населения в повышении качества курортно-рекреационной зоны.

Задачи исследования:

1. Дать оценку степени удовлетворенности респондента существующей структурой и качеством среды набережной; сравнительную оценку с аналогичными отечественными и зарубежными курортами;

2. Выявить пожелания отдыхающих в функциональной наполненности и разнообразии услуг курортной зоны;

3. Определить степень готовности населения города и бизнес-структур к участию в реализации перезагрузки набережной г. Алушты в уникальную курортную среду.

Границы исследования охватывают все активно действующие слои социума, а именно: местное население, туристов, представителей бизнес-структур и администрации городского округа Алушта.

Методы исследования:

- предварительный контент-анализ уже существующей вторичной информации и рейтинга курортов аналогичной природно-климатической зоны по социальным сетям;
- метод наблюдения локализации и характера социальной активности;
- метод социологического опроса: анкетирование (население, туристы), интервьюирование (выборка представителей бизнес-структур и администрации, проводится индивидуально, или методом «круглого стола» (фокус-групп));
- сравнительный анализ опросов 2011 года и 2020 года по г.Алуште (до присоединения Автономной Республики Крым к Российской Федерации и после).

Техника сбора информации.

Пилотажное исследование в виде опроса различных групп социума, позволяющее выявить погрешности в структуре анкеты.

Основное исследование в течение курортного сезона, с использованием современных цифровых ресурсов в виде размещения опроса в социальных сетях с обратной связью, позволяющее в короткое время опросить широкий контингент респондентов.

Разработка инструментария эмпирического исследования:

- подготовка тетради наблюдений (схем градостроительных узлов, условных обозначений социальных взаимодействий);
- разработка перечня вопросов интервью;
- разработка анкеты опроса населения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Для пилотной апробации инструментария проведен опрос 12 гостей и 48 местных жителей г. Алушты. Возраст респондентов был различным, в основном это работающая часть активного населения до 65 лет и студенты.

Первичная информация систематизирована по задачам исследования с помощью программ Microsoft Word и MS Office, а также интернет ресурса Google Формы.

Результаты выведены в виде диаграмм с помощью интернет сайта <https://www.google.com/intl/ru/forms/about/>

Результаты анкетирования показали:

Большинство респондентов отметили, что Алушта уникальна своим климатом и природой. Люди чувствуют себя спокойно в этом городе и довольны сложившейся атмосферой. Некоторые нашли сходства города Алушты с такими городами как: Ялта, Судак, Ярославль и Кипр.

Большая часть респондентов не довольны структурой и качеством организации набережной в г. Алушта.

При оценке качества курортно-рекреационного обслуживания в Алуште от 0 до 10, средние баллы разделились следующим образом:

- удовлетворенность отдыхом – 4,0 балла;
- уровень сервиса – 3,2 балла;
- гостеприимство населения – 6,0 балла;
- питание – 4,1 балла;
- организация досуга – 2,6 балла;
- разнообразие функциональных зон – 2,2 балла;
- транспорт – 6 баллов;
- благоустройство территории – 3,4 балла;
- наличие зеленых зон – 6,1 балла.

Подавляющее большинство респондентов отметили отсутствие разнообразия функциональных зон, загрязненность набережной и пляжей, а также отсутствие границ тихого и активного отдыха.

67,3% респондентов отметили, что испытывают потребность в повышении качества приморской набережной.

Пожелания по реконструкции набережной у респондентов были следующими: набережная должна быть простая, открытая, многофункциональная, привлекательная, безопасная и доступная.

Респонденты отметили потребность во время отдыха на набережной в отдыхе на пляже, в общественном питании, в отдыхе в тихой зоне, в оздоровлении, а также в развлечениях.

На вопрос: «Какие элементы благоустройства набережной и пляжной зоны необходимы по Вашему мнению?» - большая часть респондентов отметили, что необходимы теневые навесы, общественные туалеты, душевые и раздевалки, а также различные малые архитектурные формы.

После реконструкции набережной респонденты ожидают повышение уровня качества рекреационной среды и увеличения количества туристов.

86,7% респондентов заинтересованы в повышении качества курортно-рекреационной зоны, остальные 13,3% затруднились ответить.

Все респонденты поддержали идею реконструкцию набережной в Алуште.

73,3% респондентов чувствуют необходимость в контакте бизнес-структур, населения и администрации города, остальные 26,7% затруднились ответить.

На вопрос «Как правильно наладить контакт бизнес-структур и населения с управлением города?» - респонденты предложили публичные слушания, совещания, метод «круглого стола» и тренинги.

Половина респондентов отметили, что они готовы принимать деятельное участие в повышении качества приморской набережной в Алуште.

Из предложений по перезагрузке набережной Алушты в уникальную курортную зону, которые респонденты вынесли бы для обсуждения на муниципальном и областном уровне, можно выделить обновление нормативно-законодательной базы, создание доступной среды для

маломобильных групп населения, а также реконструкции прибрежных территорий с необходимостью в создании принципов последующим утверждением. формирования градостроительных решений по

Визуально-графическая презентация результатов исследования

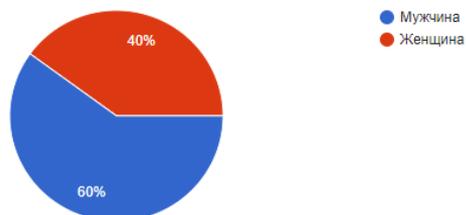


Рис.1. Информация о респондентах. Пол.  
Fig. 1. Information about respondents. Paul.

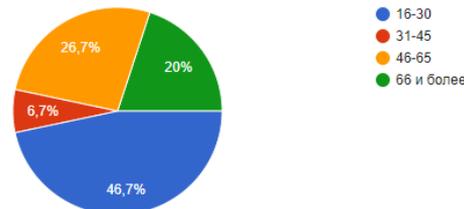


Рис.2. Информация о респондентах. Возраст.  
Fig. 2. Information about respondents. Age.

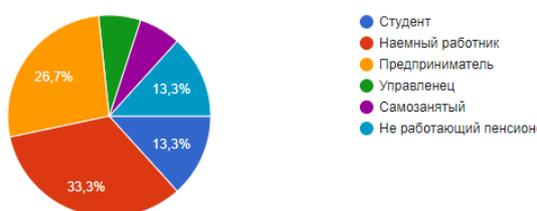


Рис. 3. Информация о респондентах. Социальный статус.  
Fig. 3. Information about respondents. Social status.

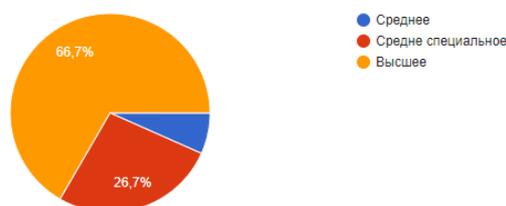


Рис. 4. Информация о респондентах. Образование.  
Fig. 4. Information about respondents. Education.

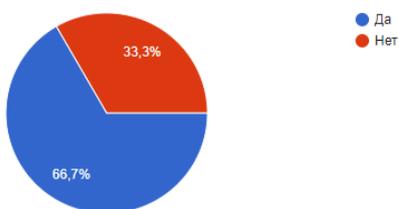


Рис. 5. Информация о респондентах. Наличие потребности в дополнительных знаниях.  
Fig.5. Information about respondents. The need for additional knowledge.

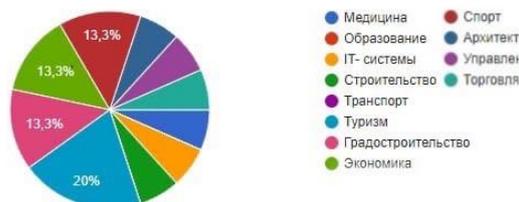


Рис. 6. Информация о респондентах. Сфера специализации.  
Fig. 6. Information about respondents. Field of specialization.

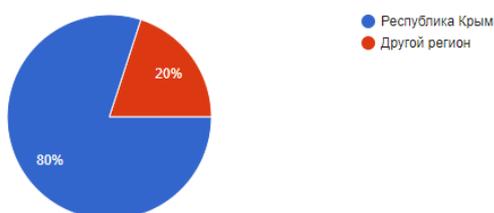
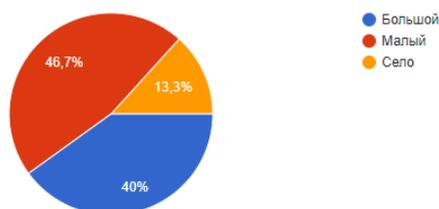
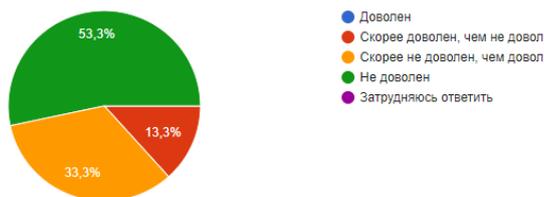


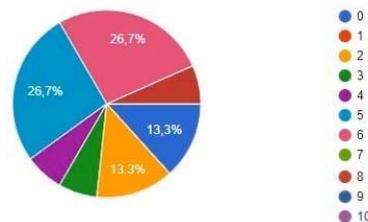
Рис. 7. Информация о респондентах. Город постоянного проживания.  
Fig. 7. Information about respondents. City of permanent residence.





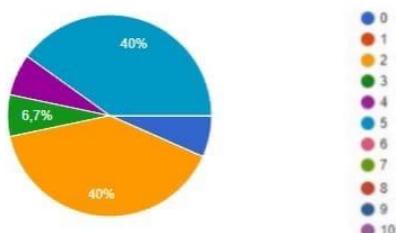
**Рис. 8.** Степень удовлетворенности респондентов структурой и качеством организации набережной в Алуште

**Fig. 8.** The degree of satisfaction of respondents with the structure and quality of the organization of the embankment in Alushta



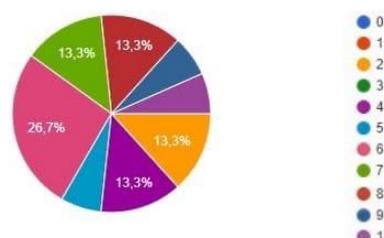
**Рис.9.** Оценка респондентов качества курортно-рекреационного обслуживания в Алуште (от 0 до 10). Удовлетворенность отдыхом.

**Fig. 9.** Respondents' assessment of the quality of resort and recreational services in Alushta (from 0 to 10). Satisfaction with the rest.



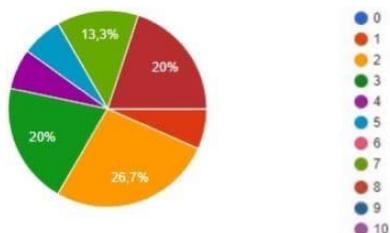
**Рис.10.** Оценка респондентов качества курортно-рекреационного обслуживания в Алуште (от 0 до 10). Уровень сервиса.

**Fig. 10.** Respondents' assessment of the quality of resort and recreational services in Alushta (from 0 to 10). The level of service.



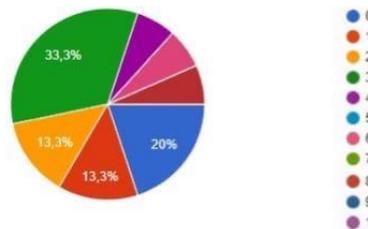
**Рис.11.** Оценка респондентов качества курортно-рекреационного обслуживания в Алуште (от 0 до 10). Гостеприимство населения.

**Fig. 11.** Respondents' assessment of the quality of resort and recreational services in Alushta (from 0 to 10). The hospitality of the population.



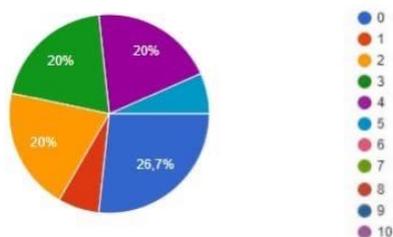
**Рис.12.** Оценка респондентов качества курортно-рекреационного обслуживания в Алуште (от 0 до 10). Питание.

**Fig. 12.** Respondents' assessment of the quality of resort and recreational services in Alushta (from 0 to 10). Food.



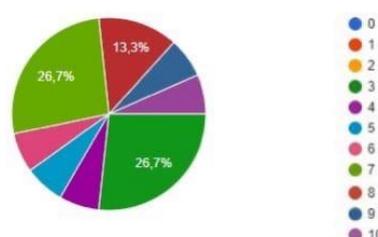
**Рис.13.** Оценка респондентов качества курортно-рекреационного обслуживания в Алуште (от 0 до 10). Организация досуга.

**Fig. 13.** Respondents' assessment of the quality of resort and recreational services in Alushta (from 0 to 10). Organization of leisure activities.



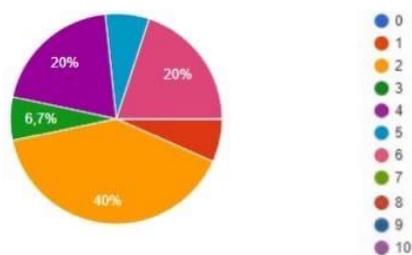
**Рис.14.** Оценка респондентов качества курортно-рекреационного обслуживания в Алуште (от 0 до 10). Разнообразие функциональных зон.

**Fig. 14.** Respondents' assessment of the quality of resort and recreational services in Alushta (from 0 to 10). A variety of functional areas.



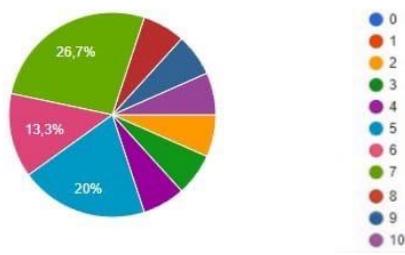
**Рис. 15.** Оценка респондентов качества курортно-рекреационного обслуживания в Алуште (от 0 до 10). Транспорт.

**Fig. 15.** Respondents' assessment of the quality of resort and recreational services in Alushta (from 0 to 10). Transport.



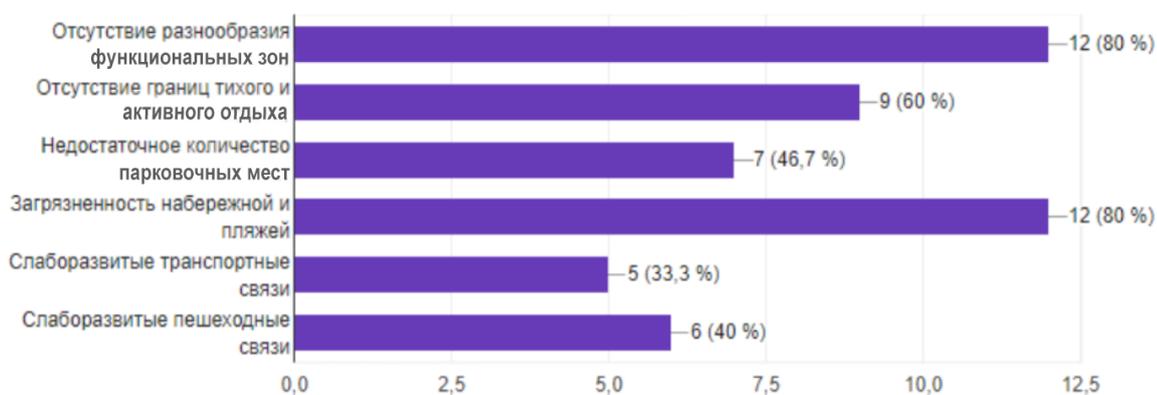
**Рис.16.** Оценка респондентов качества курортно-рекреационного обслуживания в Алуште (от 0 до 10). Благоустройство территории.

**Fig. 16.** Respondents' assessment of the quality of resort and recreational services in Alushta (from 0 to 10). Landscaping of the territory.



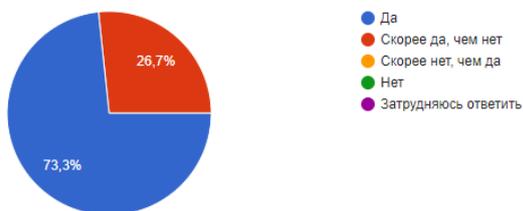
**Рис.17.** Оценка респондентов качества курортно-рекреационного обслуживания в Алуште (от 0 до 10). Наличие зеленых зон.

**Fig. 17.** Respondents' assessment of the quality of resort and recreational services in Alushta (from 0 to 10). The presence of green areas.



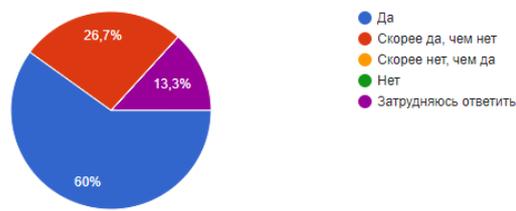
**Рис.18.** Проблемы, с которыми сталкивались респонденты во время отдыха в Алуште

**Fig. 18.** Problems encountered by respondents during their vacation in Alushta



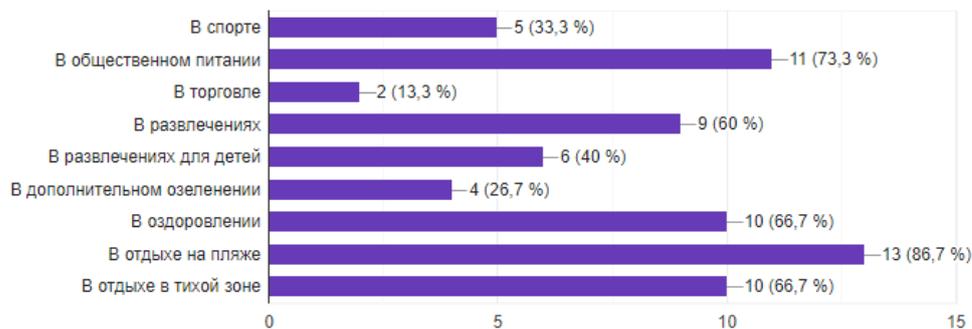
**Рис.19.** Наличие у респондентов потребности в повышении качества приморской набережной

**Fig. 19.** Respondents' need to improve the quality of the seaside embankment



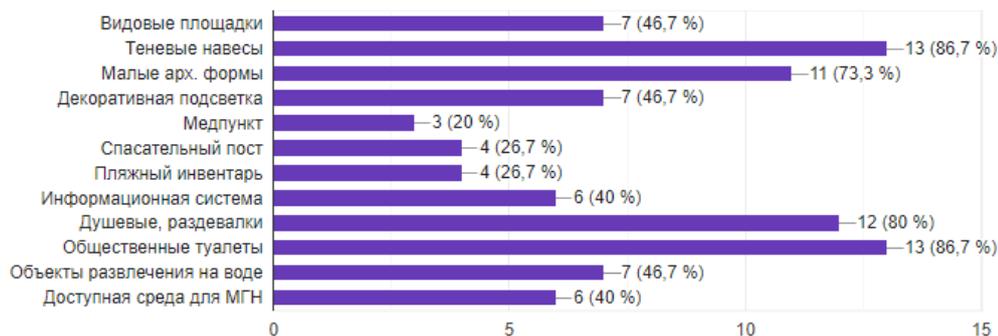
**Рис.20.** Заинтересованность респондентов в повышении качества курортно-рекреационной зоны

**Fig. 20.** Respondents' interest in improving the quality of the resort and recreation area

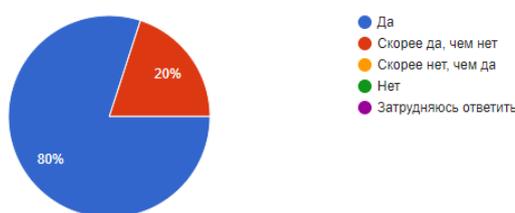


**Рис.21.** В чем респонденты испытывают потребность во время отдыха на набережной

**Fig. 21.** Respondents' interest in improving the quality of the resort and recreation area

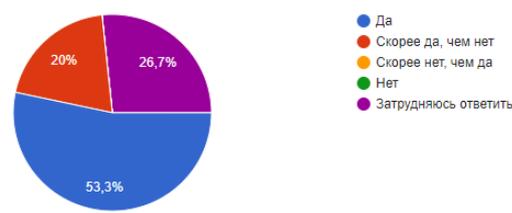


**Рис.22.** Элементы благоустройства набережной и пляжной зоны, которые необходимы по мнению респондентов  
**Fig. 22.** Elements of improvement of the embankment and beach area that are necessary according to respondents



**Рис.23.** Наличие у респондентов поддержки идеи реконструкции набережной в Алуште

**Fig.23.** Respondents' support for the idea of reconstruction of the embankment in Alushta



**Рис.24.** Присутствие у респондентов чувства необходимости в контакте бизнес-структур, населения и администрации города  
**Fig. 24.** The respondents have a sense of the need for contact between business structures, the population and the city administration

По результатам исследования сделан сравнительный анализ социологических опросов 2011 года и 2020 года по г. Алуште. Результаты социологических исследований 2011 года по набережным и пляжным территориям Алушты подробно изложены в статье [11]. Тогда было опрошено 500 респондентов. В результате сравнительного анализа выявлено, что в 2020 году отдыхающие больше удовлетворены качеством своего отдыха и оздоровления, а также отметили гостеприимство местного населения. В целом улучшение ситуации объясняется тем, что в 2013-2014 годах проведена реконструкция участка набережной «Рабочего уголка», а также территория вблизи пансионата «Море». Была отделена пешеходная зона от проезжей, выделена велодорожка. Однако, следует отметить, что в ходе эксплуатации возник конфликт между велосипедистами и пешеходами, так как участок узкий и имеет низкую пропускную способность.

Требует реконструкции восточная часть набережной г.Алушты. Об этом свидетельствуют как опросы, так и натурные обследования территории. Выявлено: низкий уровень благоустройства, большое количество недостроен и оборудования советского периода, которое пришло в негодность. Главная проблема – отсутствие прямой пешеходной связи вдоль побережья.

Которая бы соединяла центральную часть набережной с восточной и западной частями. Протяженность центральной части набережной города не велика и ее функционально-планировочные характеристики имеют неоднозначную оценку у опрошенных.

## ВЫВОДЫ

Формирование и апробация программы конкретного социологического исследования «Генерализированные социально-культурные потребности в системе организации приморской набережной г. Алушты» показала возможность получения доказательной базы социологического обоснования реконструкции приморской набережной для организации среды для отдыха и оздоровления населения.

Исследование показало высокий уровень причастности и ответственности граждан к курортному ресурсу, а также помогло сформировать социально-культурные потребности населения в повышении качества курортно-рекреационной зоны.

Вышеизложенные результаты опросов могут быть применены для концепции и проекта реконструкции прибрежной зоны г. Алушты, а именно по усовершенствованию функционально-

планировочной ситуации, благоустройства и озеленения. В свою очередь обновленная качественная среда набережной и пляжей, удовлетворяющая потребности отдыхающих будет способствовать привлечению и увеличению туристических потоков, что приведет к положительному экономическому эффекту.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болдырев В.Л., Рябкова О.И. Создание искусственных песчаных пляжей на северном побережье Самбийского полуострова // Проблемы геоморфологии и четвертичной геологии шельфовых морей. Калининград, 1989. – С.86-90.
2. Будин А.Я. Городские и портовые набережные // А.Я. Будин. – Санкт-Петербург: Политехника, 2014. – 418 с.
3. Денисов М.Ф. Набережные // М. Ф. Денисов. - М.: Стройиздат, 1982. – 149 с.
4. Кохновер Ф.Г. Архитектурно-планировочное проектирование городских набережных: Учеб. пособие. Москва: МИСИ, 1978 (вып. дан. 1979). – 51 с.
5. Крамская Н.Н. Принципы формирования перспективного расселения в приморских курортных местностях: на примере Южного берега Крыма: диссертация кандидата архитектуры: 18.00.00 // Н.Н. Крамская. – Киев, 1970. - 199 с.
6. Кундиренко З. Биография набережной Алушты // Знание. 1997. – 87с.: ил.
7. Рахуба А.С. Принципы архитектурно-планировочной организации курортов Южного Берега Крыма: Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. архитектуры: (18.00.04) // Ленингр. инж.-строит. ин-т. - Ленинград, 1977. – 24 с.
8. Трухачев С.Ю. Архитектурно-планировочные принципы градостроительного зонирования: на примере городов Юга России: автореферат дис. кандидата архитектуры: 18.00.04 // Трухачев С.Ю. – Москва, 2008. – 29 с.
9. Шахова М.Е. Объекты водной рекреации, туризма и спорта в прибрежных зонах городов / М.Е. Шахова // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политическая. 2013.
10. Яременко Н.М. Архитектурно-планировочная организация прибрежной застройки приморских городов Украины (на примере г. Одессы): автореферат диссертации канд. архитектуры: 18.00.01. – Киев: 2007. – 20 с
11. Сидорова В.В. Социологические исследования по прибрежным территориям / В.В. Сидорова // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. Наук.-техн. зб. – К.: КНУБА, 2011. – Вип. 28. – С. 267-275.
12. Сидорова В. В. Планировочная организация современных приморских пляжей / В.В. Сидорова // Комунальне господарство міст. Наук.-техн. збірник. – Харків: Харківська національна академія міського господарства, 2011. – Вип. 99. – С. 518-526.

13. Сидорова В.В. Развитие современных приморских набережных / В.В. Сидорова, О.В. Сокол // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. – Симферополь: НАПКС, 2011. – Вып. 38. – С. 13-21.

### REFERENCES

1. Boldyrev V.L., Ryabkova O.I. Creation of artificial sandy beaches on the northern coast of the Samba Peninsula // Problems of geomorphology and Quaternary geology of the shelf seas. Kaliningrad, 1989. P. 86-90.
2. Pod A. Y. City and harbour quays // A.J. Beaudoin. – Saint-Petersburg: Politechnika, 2014. – 418 p.
3. Denisov M. F. Naberezhnye Chelny / / M. F. Denisov. - M.: Stroyizdat, 1982. - 149 p.: ill.
4. Kohnover F. G. Architectural and planning design of urban embankments: Textbook. Moscow: MISI, 1978 (issue dan. 1979). – 51 p.
5. Kramskaya N. N. Principles of formation of perspective settlement in seaside resort areas: on the example of the Southern coast of Crimea: dissertation of the Candidate of Architecture: 18.00.00 // N.N. Kramskaya. – Kiev, 1970. – 199 p.
6. Kundirenko Z. Biography of the embankment of Alushta // Knowledge. 1997 – 87s.
7. Rakhuba A. S. Principles of architectural and planning organization of resorts of the Southern Coast of Crimea: Abstract. dis. on the screen. learned. degrees of Cand. architecture: (18.00.04) // leningr. Inzh.-builds. in-t.-Leningrad, 1977. – 24 p.
8. Trukhachev S. Yu. Architectural and planning principles of urban zoning: on the example of cities in the South of Russia: abstract of the Candidate of Architecture dis.: 18.00.04. – Moscow, 2008. – 29 p.
9. Shakhova M. E. Objects of water recreation, tourism and sports in coastal zones of cities / M. E. Shakhova // Internet-Vestnik VolgGASU. Ser.: Politicheskaya. 2013.
10. Yaremenko N. M. Architectural and planning organization of coastal development coastal cities of Ukraine (on the example of Odessa): abstract of the dissertation of the Candidate of Sciences. architectures: 18.00.01 // N. M. Yaremenko; kol.auth. Kyiv National University of Construction and Architecture. – Kiev: 2007. – 20 p.
11. Sidorova V.V. Sotsiologicheskie issledovaniya po littoral'nyim territoriyam / V.V. Sidorova // Suchasni problemi arkhitekturi ta mistobuduvannya. Nauk.- tehn. zb. – K.: KNUBA, 2011. – Is. 28. - Pp. 267-275.
12. Sidorova V.V. Planning organization of modern seaside beaches / V.V. Sidorova // Komunalne gospodarstvo mist. Sci.-tech. zbirnik. - Harkiv: Kharkivska natsionalna akademiya misskogo gospodarstva, 2011. – Is. 99. – Pp. 518-526.
13. Sidorova V.V. Razvitie sovremennykh primorskikh naberezhnye chelny / V.V. Sidorova, O.V. Sokol // Stroitelstvo i tekhnogennaya bezopasnosti. Sb. nauch.trudov. – Simferopol : NAPKS, 2011. – Is. 38. – Pp. 13-21.

GENERALIZED SOCIO-CULTURAL NEEDS IN THE ORGANIZATION SYSTEM OF THE  
PRIMORSKY EMBANKMENT OF THE CITY OF ALUSHTA

V.V. Sidorova<sup>1</sup>, A.P. Kupriy<sup>2</sup>

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Academy of Construction and Architecture

e-mail: <sup>1</sup> nucikBBC@yandex.ru, <sup>2</sup> lenakupr2009@yandex.ru

**Abstract.** The article provides a brief analysis of a sociological study aimed at studying the socio-cultural needs and opportunities of various segments of the population interested in updating and maintaining the structure and unique qualities of the environment of the resort city of Alushta. In the course of the study, the author identified the following problems in the operation of the embankment: social, economic, aesthetic, planning, regulatory and legal. Analyzing these problems helps you understand which solutions are appropriate for a particular region and a particular seaside promenade, which actions will help solve the identified problems, and which will only worsen them. The author analyzes and systematizes the socio-cultural needs in the formation of a high-quality environment for recreation and recreation of the population. The issue of citizens' involvement and responsibility in the resort resource is considered in detail. The results of the study allow us to draw up a project task for the reconstruction of the Embankment of the city. Alushta on the basis of the formed social order, with the subsequent design of the embankment corresponding to the world standards of resort cities. The conducted analysis demonstrates the possibility of obtaining an information and evidence base of sociological justification.

**Subject:** The social vision of the direction of the transformation of the resort environment, as well as the willingness and degree of participation in the positive dynamics of the development of the Embankment of Alushta.

**Materials and methods:** content analysis of existing information, method of observation, method of sociological survey (questionnaire survey, interviewing).

**Results:** The full extent of the subsequent project of reconstruction of the embankment provides for the achievement of urban-ecological synergy:

- civilizational culture of consumption and distribution;
- social efficiency;
- aesthetic perfection and uniqueness.

**Conclusions:** A comprehensive analysis of a specific sociological order for the project site allows us to identify the main role of the seaside embankment – the main public space of the resort city.

**Key words:** urban planning, embankment, reconstruction, improvement, social order, sociological survey.



## АДАПТАЦИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙ К НОВОЙ ФУНКЦИИ

Жиленко О.Б.<sup>1</sup>, Ниметуллаева У.М.<sup>2</sup>

Академия строительства и архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»  
295493, Республика Крым, г. Симферополь, улица Киевская, 181  
E-mail: <sup>1</sup>o.b.zhilenko@mail.ru, <sup>2</sup>ulvieshka\_n@mail.ru

**Аннотация:** в статье рассмотрены перспективы использования старых зданий при изменении их функционального назначения. Основными задачами являются: анализ факторов, влияющих на процесс адаптации и разработка рекомендаций к адаптации зданий к новой функции.

**Предмет исследования:** адаптация существующих зданий к зданию МФЦ на примере бывшего мебельного цеха.

**Материалы и методы:** анализ литературных и интернет источников. Изучение процесса адаптации в современных условиях, с учетом актуальных приоритетов. Обзор существующих объектов и оценка возможности приспособления их к новой функции. Анализ архитектурно-планировочных решений существующих зданий и проектов адаптации, выявление инженерных особенностей. Изучение новых тенденций в основных направлениях адаптации.

**Результаты:** возможность получения рабочей модели действий для адаптации зданий и большего внедрения данного опыта в проектную и архитектурную практику. Материалы исследования могут быть использованы при разработке стратегии городского развития, при реконструкции отдельных зданий и комплексов

**Выводы:** Выявлены особенности адаптации существующих зданий к новой функции; Возможность изменения функции или изменения использования здания, изменение размеров или изменение производительности, что приводит к экономии энергии и/или ресурсов, сокращению сроков строительства и т.д.; Систематизированы факторы, влияющие на процесс адаптации; Сформулированы принципы адаптации существующих зданий к новой функции; Разработаны рекомендации, применимые для адаптации существующих зданий под МФЦ.

**Ключевые слова:** здание; ремонт; реконструкции; адаптация; функциональное назначение; многофункциональный центр (МФЦ); расчетная модель

## ВВЕДЕНИЕ

Для улучшения качества и доступности государственных услуг, повышения эффективности деятельности исполнительных органов в рамках административной реформы 2006 г. было принято решение строительства (ремонта/реконструкции) зданий, предназначенных под межведомственную организацию, работающую по принципу «одного окна».

Адаптация существующих зданий является экономически целесообразной и сокращает сроки введения в эксплуатацию.

В обществе возрастает потребность в доступном канале получения комплекса услуг, а простаивающие свободные здания могут быть подходящими объектами для перепрофилирования их под многофункциональный центр (МФЦ).

Таким образом решается сразу несколько задач: население получает единый центр для получения государственных и/или муниципальных услуг, а пустующие здания оптимизируют и подготавливают к эффективному использованию.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Архитектура промышленных зданий за 300 лет своего существования претерпевала различные изменения, которые можно разделить на несколько этапов. В XVIII-м – начале XIX-го века промышленные здания представляли собой 5-6 этажные прямоугольные постройки. Такие здания в первую очередь должны были выполнять свое функциональное назначение. Позже, во второй половине XIX-го века, промышленные здания стали

возводить одноэтажными, с более продуманной планировкой и без внутренних опор. На третьем этапе появились пролетные здания с большими залами и в дальнейшем преобразовались в ячейковые, а после и в боксовые. Благодаря развивающимся технологиям такие здания были высоко технически оснащены [4].

С 80-х годов проектирование промышленных объектов пришло в упадок. В Европе этот этап назвали кризисом промышленной архитектуры. Однако этот кризис стал толчком к созданию сложных промышленных предприятий и развитию новых промышленных технологий.

В 2000-летнем трактате Витрувия «Десять книг по архитектуре» упоминалось латинское слово *utilitas* «полезность» как один из трех основных компонентов архитектуры, два других *firmitas* (долговечность) и *venustas* (красота). Другими словами, архитектура должна иметь практическую функцию. Проекты адаптации связывают прошлое с настоящим и проецируют в будущее. Это одновременно вызов и возможность для профессионалов продемонстрировать свои навыки и творческий потенциал.

Многие исследовали данную тему и стоит выделить исследование Д. Чайко [7], а также статью «Интеграция исторических промышленных объектов в городскую среду» [8], посвященные градостроительным особенностям явления конверсии индустриальных территорий. Исследование А.А. Яковлева [4] дает обширную классификацию понятий, связанных с вопросами функциональной адаптации промышленных зданий. В статье А. Лапеля [9] анализируется повторное использование промышленных зданий. В нем

приводится отчет о судьбе промышленных зданий, утративших свою функцию, и о причинах изменений, а также об условиях, способствующих и препятствующих таким изменениям функции.

Для исследования были изучены несколько основных групп научных работ, отражающих различные аспекты поставленной задачи. История отечественной индустриальной архитектуры изучалась Подольским Р.П. [10], Румилец Т.С., Кононова О.А. [5]. Процесс переоборудования старых зданий для новых целей, который позволяет структурам сохранять свою историческую целостность, обеспечивая при этом современные потребности жителей, в своей статье описывает Д. Кларк [11]. Новая серия книг для строительной отрасли, опубликованная совместно Королевским институтом дипломированных геодезистов и Wiley Blackwell- Инновации в искусственной среде (IBE). В нем рассматриваются вопросы, актуальные для текущих исследований и практического применения, и учитывается международная перспектива, опираясь на исследовательские приложения и тематические исследования по всему миру.

Однако в вышеуказанных работах не рассматривается более конкретная и актуальная в настоящее время тема – адаптация зданий под МФЦ. При разработке целостного подхода реконструкции и модернизации существующих зданий под МФЦ создается доступный канал получения комплекса услуг для населения от различных ведомств. С этой целью был проведен анализ архитектурно-планировочных решений существующих зданий и разработаны рекомендации по адаптации существующих зданий, к новому функциональному назначению (под МФЦ).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ литературных и интернет источников. Изучение процесса адаптации в современных условиях, с учетом актуальных приоритетов. Обзор существующих объектов и оценка возможности приспособления их к новой функции. Анализ архитектурно-планировочных решений существующих зданий и проектов адаптации, выявление инженерных особенностей. Изучение новых тенденций в основных направлениях адаптации.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Для получения статуса адаптивного здания применяются два радикальных подхода. Первый — это временные здания, часто используемое военными, когда казармы, а иногда и другие типы зданий были рассчитаны на ограниченный срок службы. Временные здания стали менее благоприятными из-за своего уровня сложности и стоимости по сравнению с коротким сроком службы и ранним износом.

Вторым подходом к адаптируемым зданиям является стандартизация. Система была спроектирована таким образом, чтобы максимально упростить внутреннюю модификацию с учетом меняющихся потребностей.

Такая временная мера, была успешна в некоторых случаях, но не являлась долгосрочным решением вопросов гибкости и адаптируемости.

Актуальное и современное решение адаптации существующих зданий и территорий на которых они располагаются должны носить комплексный характер и быть более функциональным, важны интеграция здания на местности и ее соответствие социальным требованиям.

Адаптация уже существующих зданий является экономически целесообразной и существенно сокращает сроки введения в эксплуатацию.

Простаивающие свободные здания могут быть хорошим объектом для репрофилирования и оптимизации, а также подготовке к эффективному использованию. Например, старые промышленные постройки.

Изучая отечественный и зарубежный опыт адаптации зданий, можно прийти к выводу, что были сформированы несколько путей решения этой задачи[6]:

- музеефикация зданий, при необходимости в комплексе с сохранившимся техническим оборудованием;
- сохранение и экспонирование уникального оборудования и зданий в структуре действующего предприятия;
- изучение, фиксация и документирование объекта, который невозможно спасти от разрушения;
- сохранение наиболее ценных элементов и оборудования, перенос их в другое место;
- вывод производства с сохранением, реконструкцией застройки и включением ее в качестве композиционных акцентов в новую структуру;
- преобразование зданий к новой функции: жилые, общественные, смешанные.

С 2000 г. на территории Страсбургского порта находились складские помещения индустриального назначения, которые долгое время никто не использовал. В 2003 г. местные власти пришли к решению что старое здание нужно отремонтировать и использовать его в качестве общественного и культурного центра. В скором времени объявили конкурс, а уже к 2008 году работы по реконструкции были закончены. Сегодня это здание используется как медиатека с просторными читальными залами, помещения для отдыха, хранения книг, выставочными залами, кафе, административными помещениями (рис.1). Интерьер выполнен с использованием яркого красного и белого цветов. Во многих помещениях остались без отделки бетонные стены и колонны индустриальной конструкции, что вписывается в общий облик и атмосферу пространства. [5]



**Рис. 1.** Медиатека Анре Мальро – Страсбург, Франция.  
**Fig. 1.** Anre Malraux Mediatheque - Strasbourg, France.

Этот пример интересен масштабностью постройки, успешной реализацией адаптации «холодных» и «неприветливых» стен индустриального здания в посещаемое общественное пространство, что достигнуто колористическим решением интерьера. С другой стороны, конструктивные особенности здания не скрывались и были подчеркнуты с выгодной стороны. Каркасная конструкция позволила подобрать подходящее под новую функцию планировочное решение и организовать открытые и хорошо освещаемые пространства читальных залов. В данном проекте решен и градостроительный аспект: медиатека стала связующим звеном центральной части города и южных спальных районов.

Адаптация помогает приспособить здание к новой функции и гармонично вписать его в архитектуру города. Свободные здания могут быть хорошим объектом для перепрофилирования. Таким образом решается сразу несколько задач: население получает эксплуатируемый объект, а пустующие здания спасают от разрушения, оптимизируют и подготавливают к эффективному использованию.

Исследование данной темы проводилось путем анализа литературных и интернет источников; изучения процесса адаптации в современных условиях и с учетом актуальных приоритетов.

Выделяют три основные формы адаптации[2]:

1. Преобразование.
2. Расширение.
3. Ремонт.

Любая существенная работа по адаптации требует детального изучения объекта, чтобы избежать многочисленных проблем и «сюрпризов».

Обследование здания позволяет определить какие изменения произошли в здании за период эксплуатации. Такие исследования проводят в несколько этапов. На начальном этапе изучают имеющуюся документацию, проводят визуальный осмотр объекта с фотофиксацией и выполняют обмерные работы. При необходимости возможно инструментальное или лабораторное исследование. На последнем этапе составляется техническое заключение, в котором указывается в каком состоянии обследуемый объект и какие варианты его эксплуатации в дальнейшем.

#### **Преимущества адаптации:**

1. Социальные факторы: экономия энергии и/или ресурсов, сохранение исторических зданий и социальное сопротивление переменам
2. Экономические факторы: сокращенные сроки строительства; возможность сохранить бизнес; состояние здания; необходимость обновления зданий.

Наиболее благоприятными вариантами для перепрофилирования или адаптации могут быть складские или большие офисные здания.

Склад (также большой розничный магазин или супермаркет) для офиса, лаборатории, и, возможно, школа или детский сад. Чем больше здание, тем более дорогостоящими будут строительные работы.

Есть три основных фактора на которые следует обратить внимание при выборе объекта адаптации(рис. 2):

1. Территория размещение здания (доступность для населения).
2. Назначение здания (габариты здания, этажности пр.).
3. Ремонтпригодность (адаптивность).

Требования к адаптируемым зданиям:

1. Функциональные – определяет, в какой степени объект соответствует своему назначению.
2. Архитектурные – рассматривается увязка назначения здания с его внешним обликом, гармоничное взаимодействие с окружающими постройками и ландшафтом.
3. Технические – отражают техническое состояние объекта и несущую способность здания.
4. Экономические – направленные на рационализацию строительства и уменьшение финансовых и временных затрат.

Каждая группа включает в себя несколько подпунктов, которые можно увидеть в алгоритме на рис. 3.



Рис. 2. Критерии адаптации  
Fig. 2. Criteria for adaptation



Рис. 3. Факторы, влияющие на принятие решения об адаптации  
Fig. 3. Factors influencing the decision to adapt

Адаптация существующих зданий всегда решается в комплексе с градостроительными факторами, в общей согласованности с развитием жилого и общественного городского пространства.

В работе по адаптации здания к новому назначению необходимо выполнить структурный анализ прочности существующих материалов и конструкций, а также, обеспечить соответствие действующим нормативным документам. Планируемые изменения часто требуют инновационных решений по усилению

конструкций, необходимость в которых часто возникает в процессе реализации проекта.

После проведенного анализа были сформулированы принципы адаптации существующих зданий к новой функции [3]:

1. Постановка задачи.
2. Перспективы адаптации существующего здания к новому функциональному назначению.
3. Определение степени вмешательства при изменении и преобразовании существующих объемов.

4. Сохранение значительной части несущих конструкций.

5. Обеспечение длительного срока эксплуатации.

При выполнении работ по адаптации существующих зданий к новому назначению, рекомендовано:

1. Проведение анализа затрат.

2. Выполнение сравнительного анализа возможных вариантов преобразования: снос, новое строительство и реставрация.

3. Привлечение квалифицированных кадров к выполнению проектных и строительных работ.

4. Оценка состояния несущих конструкций здания.

5. Контроль на всех уровнях выполнения работ.

В рамках исследования рассмотрено существующее здание мебельной фабрики в г. Керчь. Здание компактной планировки, одноэтажное, размерами в плане 30,00×22,00 м.

Модульное здание одноэтажное, прямоугольное в плане. Пространственная схема здания – металлический каркас. Кровля двускатная по металлическим фермам с организованным сбором дождевых вод.

Высота здания до конька от уровня чистого пола – 6,1 м. Высота помещений – 3,0 м.

За относительную отметку 0.000 принят уровень чистого пола 1-го этажа. Основа здания запроектирована из металлического каркаса, столбчатый фундамент с монолитной железобетонной плитой перекрытия в уровне пола.

Изучив условия эксплуатации здания, конструктивную схему, материалы, выбранные при проектировании и их состояние на данный момент, была составлена модель (рис. 4) в многофункциональном программном комплексе – ПК Лира.

Исходя из расположения здания и основываясь на действующих нормативных документах был выполнен сбор нагрузок (табл. 1; табл. 2). Согласно СП 20.13330.2016 "Нагрузки и воздействия" район расположения здания относится к 2-ому снеговому району с нормативным весом снегового покрова 1 кПа на 1 м<sup>2</sup> и 3-ому ветровому району.

Сейсмичность – 8 баллов. Категория грунта – 2.

Так как здание изначально функционально использовалось как мебельный цех, то предполагается, что при проектировании конструкции были рассчитаны на нагрузки по значению больше чем для административного здания.

**Таблица 1.** Значения постоянных нагрузок

**Table 1.** Values of permanent loads

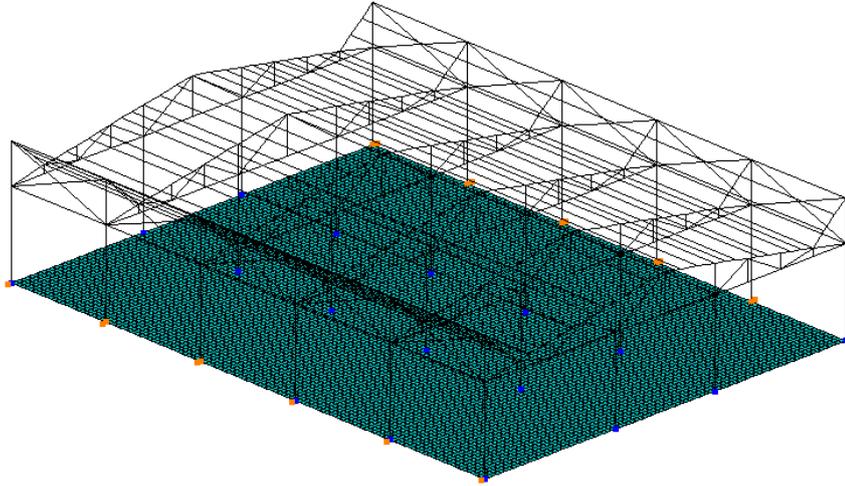
Элемент конструкции	Удельный вес, кг/м <sup>2</sup>	Толщина, мм	Нормативное значение нагрузки, кг/м <sup>2</sup>	$\gamma_f$	Расчетное значение нагрузки, кг/м <sup>2</sup>
1. Конструкция пола 1-го этажа					
Плитка	2000	5	12	1,2	14,4
Выравнивающий слой (цементный раствор)	1800	40	72,0	1,3	93,6
Арматурная сетка	7850	3	0,66	1,2	0,792
Пароизоляция (полиэтиленовая пленка)	1000	1	1	1,2	1,2
Теплоизоляция (каменная вата PAROC)	120	70	8,4	1,2	10,08
	Всего:		94,06		120,07
2. Конструкция кровли					
Сэндвич-панели кровельные пенополиуретан	130	120	16	1,2	19
Обшивка гипсокартоном	2100	9,5	20	1,2	24,0
	Всего:		36		43

**Таблица 2.** Нагрузки, приложенные к расчетной модели

**Table 2.** Loads applied to the design model

№ п/п	Конструкции	Нормативное значение нагрузки	$\gamma_f$	Расчетное значение нагрузки
1	2	3	4	5
1. Постоянные нагрузки				
1	Конструкция полов 1-го этажа, кгс/м <sup>2</sup>	94,06		120,07
2	Кровля, кгс/м <sup>2</sup>	36		43
2. Временные нагрузки				
1	Для залов ожидания, кгс/м <sup>2</sup> :	400	1,2	480(только на кр. пролеты)
	- длительная, кгс/м <sup>2</sup>	140	1,2	168

1	2	3	4	5
	- кратковременная, кгс/м <sup>2</sup>	260	1,2	312
2	Для административных помещений, кгс/м <sup>2</sup> :	200	1,2	240(только на ср. пролет)
	- длительная, кгс/м <sup>2</sup>	70	1,2	84
	- кратковременная, кгс/м <sup>2</sup>	130	1,2	156
3	Снеговая, кгс/м <sup>2</sup>	60	1,4	82
4	Перегородки, кгс/м <sup>2</sup>	300	1,3	400 (только на ср. пролет)



**Рис. 4.** Расчетная модель здания бывшего мебельного цеха в ПК Лира  
**Fig. 4.** Computational model of the building of the former furniture shop in the PC Lira

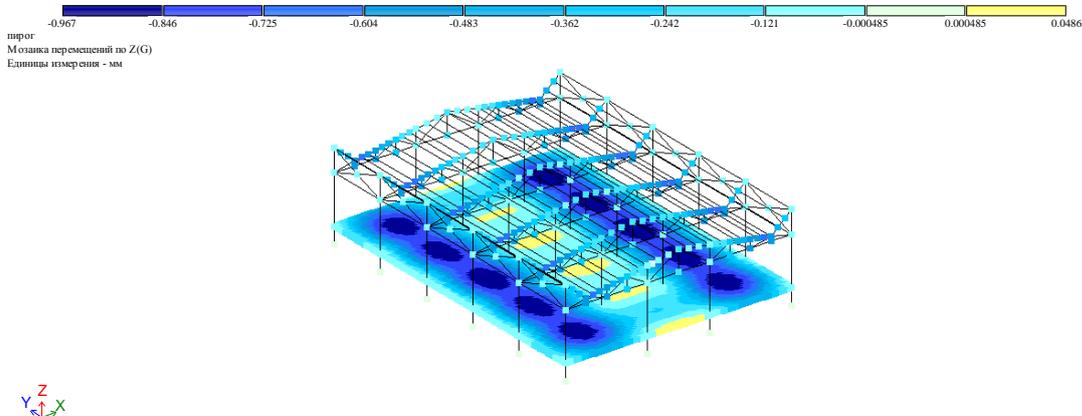
Расчет здания выполнен в ПК Лира, в результате которого можно сделать вывод о пригодности здания для перепрофилирования его под здание Многофункционального центра.

В результате расчета получены все компоненты напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов здания при постоянной нагрузке, длительно действующей части временной нагрузки, кратковременной части временной нагрузки, сейсмического воздействия вдоль оси X, оси Y.

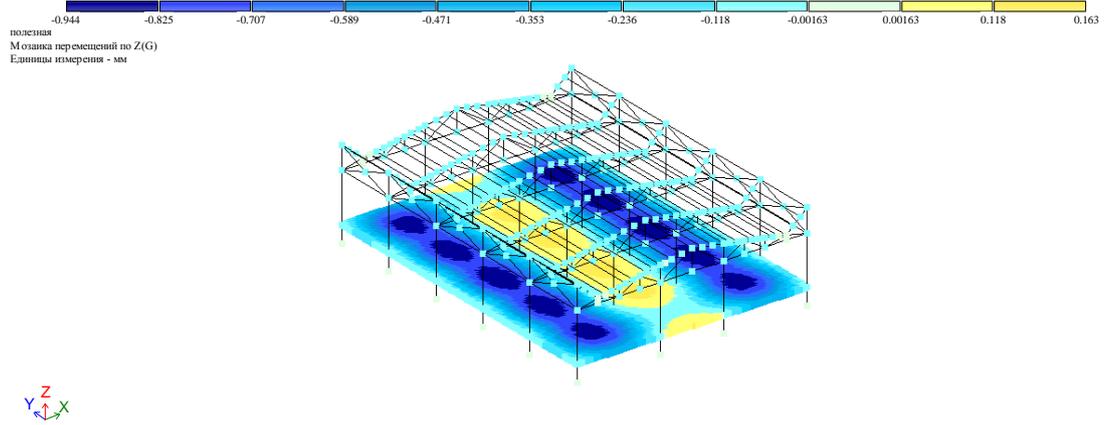
На шкале перемещений вдоль оси Z (по вертикали) отображено значение просадки конструкций под воздействием нагрузок.

Так для плиты при воздействии нагрузок (полезной нагрузки; нагрузки от конструкции пола; нагрузки от перегородок – на плиту и снеговой; нагрузки от конструкции кровли – на ферму, а также от собственного веса конструкций) значение просадки варьируется от значений со знаком плюс в центральном пролете (однако их значение настолько мало, что не имеет влияния), до отрицательных значений в крайних пролетах.

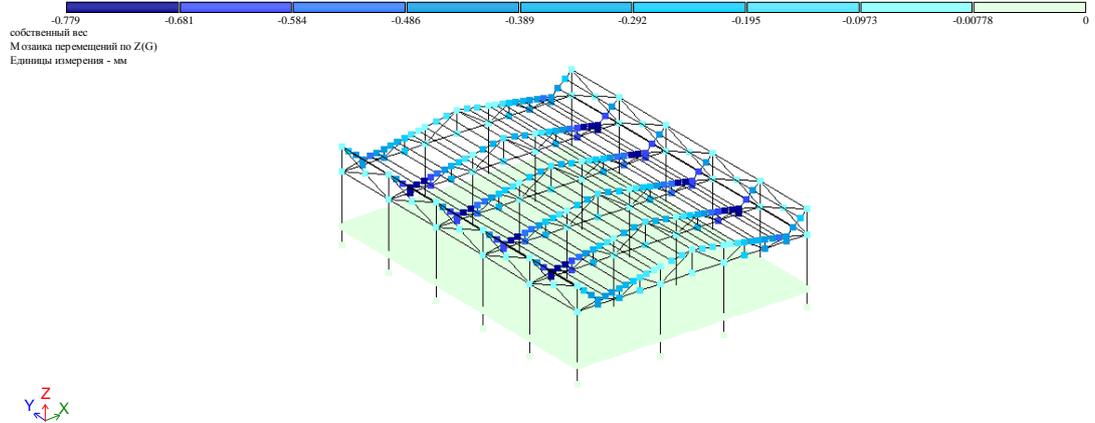
Отрицательные деформации при различных нагрузках не превышают предельно допустимых значений (для пролета 8 м – 3.2 см, для пролета 6 м – 3 см).



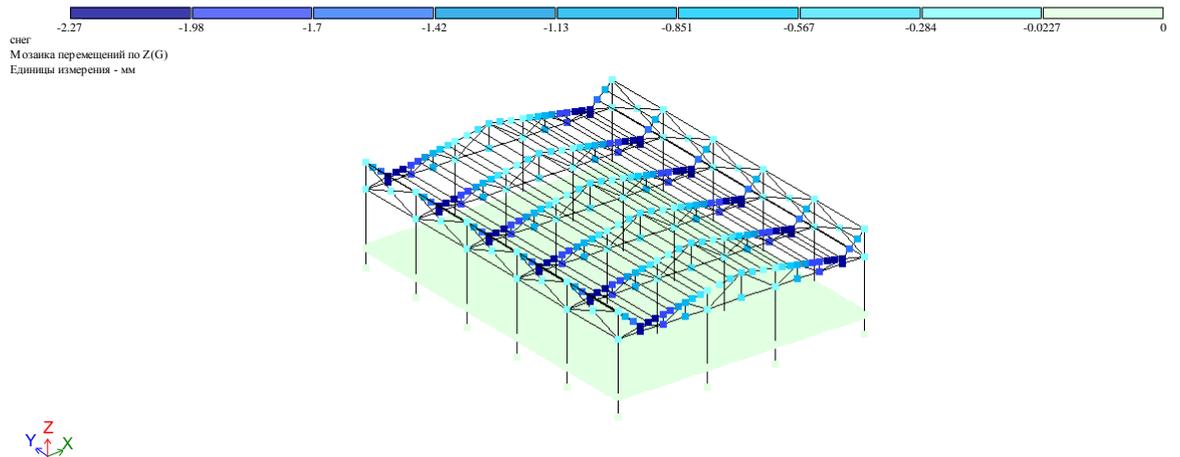
**Рис. 5.** Мозаика перемещений по оси Z от покрытия кровли и конструкции пола  
**Fig. 5.** Mosaic of displacements along the Z axis from the roof covering and floor structure



**Рис. 6.** Мозаика перемещений по оси Z от полезной нагрузки  
**Fig. 6.** Mosaic of displacements along the Z axis from the payload



**Рис. 7.** Мозаика перемещений по собственному веса конструкций  
**Fig. 7.** Mosaic of displacements by gravity of structures

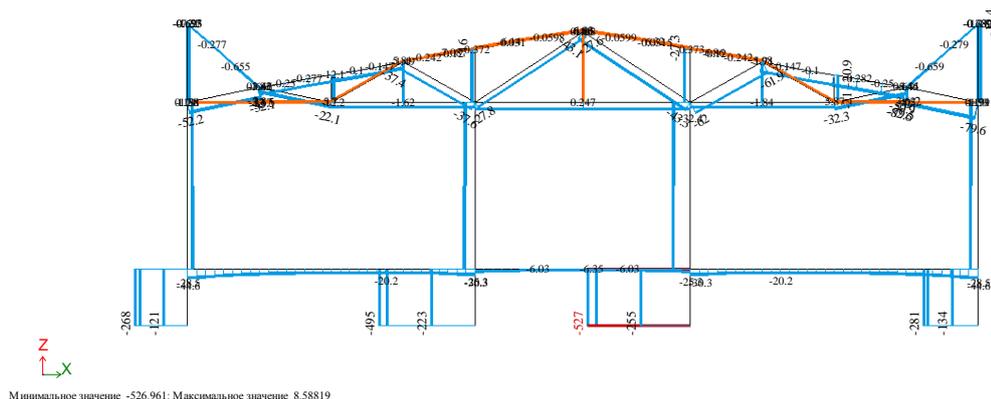


**Рис. 8.** Мозаика перемещений по оси Z от снеговой нагрузки  
**Fig. 8.** Mosaic of displacements along the Z axis from the snow load

Принятая в фундаментах арматура (АШд=12;14 мм) и класс бетона (В25; W8; F200) обеспечивают необходимую прочность и выдержат нагрузку передаваемую на него.

Максимальное усилие, передаваемое на фундамент равно 527 кН.

PCU расчетные: Огибающая минимальных значений (Таблица СП\_1)  
Эшора N  
Единицы измерения - кН



**Рис. 9.** Огибающая минимальных расчетных значений усилий  
**Fig. 9.** The envelope of the minimum design values of efforts

На функцию опорных конструкций могут влиять несущая способность, деформации, противопожарная защита, тепловые, акустические и др. свойства. В большинстве случаев новая функция может быть реализована только путем армирования или модификации указанных конструкций.

Могут быть внесены конструктивные/технические изменения.

Новое использование должно быть совместимо со зданием и сохранять значительную структуру. Так как любые изменения могут повлиять на несущую способность и устойчивость конструкций здания, следует проводить тщательный анализ и выполнить перерасчет, основываясь на актуальных данных.

В результате можно сделать вывод, что за время существования здания, его конструкции не были повреждены или подвержены значительному физическому износу. И учитывая все факторы влияющие на принятие решения, здание подходит для адаптации его к Многофункциональному центру. В результате расчета мы видим, что здание удовлетворяет всем требованиям, а конструкции обеспечат его прочность, надежность и безопасную эксплуатацию.

По результатам проведенного исследования, авторами разработаны рекомендации, применимые для адаптации существующих зданий под МФЦ:

-Исходя из общего числа населения проживающего в зоне территориального охвата МФЦ и максимальной нормативной нагрузки работника на рабочем месте должно быть рассчитано количество рабочих мест и запроектированы оптимальные габаритные размеры помещений, что в свою очередь влияет на будущую площадь здания МФЦ.

Пространство МФЦ должно быть разделено на зоны (помещения) габариты которых должны соответствовать нормативным значениям, с учетом количества человек, обслуживаемых МФЦ.

В процессе подбора объекта для дальнейшей адаптации под МФЦ следует учитывать его территориальное расположение и

беспрепятственный доступ населения к получению государственных услуг.

Место расположения здания должно быть в черте города и вблизи транспортной развязки.

Здание МФЦ рекомендуют располагать на нижних этажах и с отдельным входом для посетителей. Для маломобильных групп населения должны быть предусмотрены подъемники, эскалаторы или пандусы.[1]

Планировка зданий должна быть выполнена по зональному принципу, исходя из основного функционального назначения.

При разработке объемно планировочных решений МФЦ помимо основных функциональных помещений следует предусматривать санитарно-технические помещения: тепловой пункт, серверная, электрощитовая, венткамера, санитарные узлы для сотрудников и посетителей.

Для внутренних работ рекомендованы отделочные материалы, разрешенные для использования в помещениях с асептическим режимом, устойчивые к дезинфектантам.

Проектирование и монтаж коммуникационных сетей должны выполнять квалифицированные специалисты.

## ВЫВОДЫ

1. Выявлены особенности адаптации существующих зданий к новой функции: Возможность изменения функции или изменение использования здания, изменение размеров или изменение производительности, что приводит к экономии энергии и/или ресурсов, сокращению сроков строительства и т.д.

2. Систематизированы факторы, влияющие на процесс адаптации.

3. Сформулированы принципы адаптации существующих зданий к новой функции.

Рассмотрен конкретный пример существующего здания мебельной фабрики в г. Керчь. Выполнен расчет здания в ПК Лира и на основании собранных данных сделан всесторонний анализ.

4. Разработаны рекомендации, применимые для адаптации существующих зданий под МФЦ.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. СП 59.13330.2016 Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001.

2. Building Adaptation in Construction [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://theconstructor.org/building/building-adaptation-construction/17792/>, свободный доступ. (дата обращения 20.12.2020).

3. Guidelines for the adaptation of Historic Buildings and Sites; Heritage Office of NSW, NSW Department of Planning, 2008.

4. Яковлев А.А. Архитектурная адаптация индустриального наследия к новой функции. – Нижний Новгород: ФГБОУ ВПО «НГАСУ». – 2014. – 230 с.

5. Румилец Т.С., Кононова О.А. Тенденции адаптации существующих сооружений под медиатеку (модернизация, реконструкция и интеграция) / Т.С. Румилец, О.А. Кононова // Проблемы теории и истории архитектуры Украины. – 2013. – Вып. 13. – С. 108-113.

6. Архитектурная адаптация индустриального наследия к новой функции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.konf.x-pdf.ru/18stroitelstvo/267660-2-arhitekturnaya-adaptaciya-industrialnogo-naslediya-novoy-funkcii.php>, свободный доступ. (дата обращения 20.12.2020).

7. Чайко Д.С. Современные направления интеграции исторических промышленных объектов в городскую среду. – М.: МАРХИ. – 2007. – 194 с.

8. Соловьев Е.Е. Интеграция исторических промышленных объектов в городскую среду // Архитектура и строительство России. – М. – 2007. – 167 с.

9. Лепель А. Изменение функции промышленных зданий. Обследование // Архитектура и гражданское строительство. – 2006. – Том. 4. – С. 71-84.

10. Подольский Р.П. Материалы к истории архитектуры старых промышленных зданий в России XVII – XVIII веков // Проблемы архитектуры. Сборник материалов. – М. – 1936. – Т.1., Кн.2. – С.171-211.

11. Архитектура и Строительство. Адаптация старого здания для нового использования [Электронный ресурс]. Систем. требования: Joint Photographic Experts Group. URL: <https://archstroy.su/article/148> (дата обращения: 20.12.2020).

12. Алексеенко В.Н., Жиленко О.Б. Перепрофилирование торговых зданий Южного Берега Крыма в офисные центры с жилыми помещениями. – Луцк: ЛНТУ. – 2013. – С. 6-10.

13. Алексеенко В.Н., Жиленко О.Б. Особенности обследовательских работ и оценки сейсмостойкости здания XIX века постройки // Международный научный институт «Educatio». Ежемесячный научный журнал. – Новосибирск. – 2015. – № 3(10). – С. 45-49.

14. Алексеенко В.Н., Жиленко О.Б. Обеспечение сейсмостойкости здания XIX века постройки, с сохранением «южнобережной» бутовой кладки // Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения. Материалы VI международной научно-практической конференции 15-16 октября 2015 г. – Санкт-Петербург: Изд-во Политехнического университета. – 2015. – С. 5-24.

15. Жиленко О.Б., Алексеенко В.Н. Опыт реставрации объектов культурного наследия в сейсмических районах / В. Н. Алексеенко, О.Б. Жиленко // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. Вып. 12 (39). – С. 57-75.

16. Alekseenko V.N., Zhilenko O.B. Seismic stability of the restored architectural monument. Magazine of Civil Engineering. 2016. No. 7. Pp. 31-38. doi: 10.5862/MCE.67.4

17. Алексеенко В.Н., Жиленко О.Б. Восстановление поврежденных коррозией конструкций гражданских зданий на обводненных грунтах западного побережья Республики Крым // Градостроительство и архитектура. 2016. №4(25). С. 13-18. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.04.2.

18. Алексеенко В.Н., Жиленко О.Б. Сейсмобезопасность незавершенных строительством зданий // Сборник тезисов участников IV научной конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и молодых ученых «Дни науки КФУ им. В.И. Вернадского». – Симферополь. – 2018. – С. 48.

19. Алексеенко В.Н. Оценка сейсмостойкости незавершенных строительством зданий / В.Н. Алексеенко, О.Б. Жиленко // Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций. Сборник научных статей Военного института (инженерно-технического) Военной Академии материально-технического обеспечения им. Генерала армии Хрулева. – Санкт-Петербург. – 2019. – С.13-19.

20. Алексеенко В.Н., Жиленко О.Б. Прогнозная оценка сейсмостойкости незавершенных строительством объектов недвижимости // Строительство и архитектура. – Самара. – 2019. – №3. – С.4-12.

**REFERENCES:**

1. SP 59.13330.2016 Accessibility of buildings and structures for people with limited mobility. Updated edition SNiP 35-01-2001.

2. Building Adaptation in Construction [Electronic resource]. – Access mode: <https://theconstructor.org/building/building-adaptation-construction/17792/>, Free access. (date of treatment 12/20/2020).

3. Guidelines for the adaptation of Historic Buildings and Sites; Heritage Office of NSW, NSW Department of Planning, 2008.

4. Yakovlev A.A. Architectural adaptation of the industrial heritage to the new function. – Nizhny Novgorod: FGBOY VPO «NGASY». – 2014. – 230 p.

5. Rumilets T.S., Kononova O.A. Tendencies of adaptation of existing structures for media libraries (modernization, reconstruction and integration) / T.S. Rumilets, O.A. Kononova // *Problems of theory and history of architecture of Ukraine*. – 2013. – VIP. 13. – P. 108-113.
6. Architectural adaptation of industrial heritage to a new function [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.konf.x-pdf.ru/18stroitelstvo/267660-2-arhitekturnaya-adaptaciya-industrialnogo-naslediya-novoy-funkcii.php>, Free access. (date of circulation 12/20/2020).
7. Chaiko D.S. Modern directions of integration of historical industrial objects into the urban environment. – M.: MARHI. – 2007. – 194 p.
8. Soloviev E.E. Integration of Historical Industrial Objects into the Urban Environment // *Architecture and Construction of Russia*. – M. – 2007. – 167 p.
9. Lepel A., Changing the function of industrial buildings. Survey // *Architecture and Civil Engineering*. – 2006. – Vol. 4. – P. 71-84.
10. Podolsky R.P. Materials for the history of architecture of old industrial buildings in Russia in the 17th-18th centuries // *Problems of architecture. Collection of materials*. – M. – 1936. – T.I., Book 2. – P. 171-211.
11. Architecture and Construction. Adaptation of an old building for new use [Electronic resource]. System. Requirements: Joint Photographic Experts Group. URL: <https://archstroy.su/article/148>. Free access. (date of circulation 12/20/2020).
12. Alekseenko V.N., Zhilenko O.B. Conversion of retail buildings on the South Coast of Crimea into office centers with residential premises. – Lutsk: LNTU. – 2013. – P. 6-10.
13. Alekseenko V.N., Zhilenko O.B. Features of survey work and assessment of seismic resistance of a 19th century building // *Educatio International Scientific Institute. Monthly scientific journal*. – Novosibirsk. – 2015. – № 3(10). – P. 45-49.
14. Alekseenko V.N., Zhilenko O.B. Ensuring seismic resistance of a 19th century building, while preserving the «southern coastal» rubble masonry // *Inspection of buildings and structures: problems and solutions. Materials of the VI International Scientific and Practical Conference October 15-16, 2015 - St. Petersburg: Publishing House of the Polytechnic University*. – 2015. – P. 5-24.
15. Zhilenko O.B., Alekseenko V.N. Experience of restoration of cultural heritage objects in seismic regions / V. N. Alekseenko, O.B. Zhilenko // *Construction of unique buildings and structures*. – 2015. Issue. 12 (39). – P. 57-75.
16. Alekseenko V.N., Zhilenko O.B. Seismic stability of the restored architectural monument. *Magazine of Civil Engineering*. 2016. No. 7. Pp. 31-38. doi: 10.5862/MCE.67.4
17. Alekseenko V.N., Zhilenko O.B. Reconstruction of the structures of civil buildings damaged by corrosion on the flooded soils of the western coast of the Republic of Crimea // *Urban planning and architecture*. 2016. No4 (25). P. 13-18. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.04.2.
18. Alekseenko V.N., Zhilenko O.B. Seismic safety of unfinished construction of buildings // *Collection of abstracts of the participants of the IV scientific conference of the teaching staff, graduate students, students and young scientists «Days of Science KFU named after IN AND. Vernadsky»*. – Simferopol. – 2018. – P. 48.
19. Alekseenko V.N., Zhilenko O.B. Assessment of seismic resistance of unfinished buildings // *Defects of buildings and structures. Strengthening of building structures. Collection of scientific articles of the Military Institute (engineering and technical) of the Military Academy of material and technical support. Army General Khrulev*. – Saint Petersburg. – 2019. – C.13-19.
20. Alekseenko V.N., Zhilenko O.B. Predictive assessment of seismic resistance of unfinished construction real estate objects // *Construction and architecture*. – Samara. – 2019. – №3. – P.4-12.

## ADAPTING EXISTING BUILDINGS TO A NEW FUNCTION

Zhilenko O.B., Nimetullaeva U.M.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University

**Abstract:** The article discusses the prospects for the use of old buildings when changing their functional purpose. The main tasks are: analysis of factors influencing the adaptation process and development of recommendations for the adaptation of knowledge to a new function.

**Key words:** building; repairs; reconstruction; adaptation; functional purpose; multifunctional center (MFC); design model

## ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЕЁ РЕКОНСТРУКЦИИ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДОВ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ)

Живица В.В.<sup>1</sup>, Привалова Е.Н.<sup>2</sup>

Академия строительства и архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»  
295493, Республика Крым, г. Симферополь, улица Киевская, 181  
e-mail: <sup>2</sup>Ennifer2000@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрена проблема развития транспортной инфраструктуры в условиях современных городов. Проанализирована взаимосвязь массовой автомобилизации с качеством городской среды и развитием транспортного каркаса. Приведены примеры модернизации транспортной системы и гуманизации городской среды из мировой градостроительной практики. Авторы сформулировали ряд рекомендаций по реконструкции транспортной инфраструктуры на примере Крыма.

**Предмет исследования.** Транспортная инфраструктура городов.

**Материалы и методы.** В ходе работы был проведен анализ литературы по теме исследования и выявлены основные направления развития транспортной инфраструктуры на основе анализа мирового опыта по ее модернизации. применены методы: дедукции, теоретического анализа и синтеза, метод аналогии.

**Результаты.** Осуществлено исследование основных градостроительных проблем автомобильно-ориентированных городов (в том числе города Крыма). На основании проведенного анализа выведены общие рекомендации по реконструкции транспортной инфраструктуры Крыма. Исходя из проведенного анализа нормативно-правовых документов и научной литературы можно заключить, что данная проблема актуальна и всесторонне изучается. Однако отсутствует унифицированное её решение. На основании исследований ОАО «НИИАТ» рассмотрены такие вопросы: следствия перегруженности городской улично-дорожной сети; факторы, определяющие уровень загруженности городских улично-дорожной сети; необходимость комплексных подходов к решению транспортных проблем в городах; устойчивость городской транспортной системы; отличие устойчивой транспортной политики от традиционной. Сформулирован ряд проблем характерных транспортной инфраструктуре городов Крыма. Проанализирован успешный опыт модернизации транспортной инфраструктуры в странах: Великобритания, Германия, Япония, Швеция, и Нидерланды. В результате исследования разработаны предложения рекомендации по реконструкции транспортной инфраструктуры в Крыму по следующим критериям: повышение качества услуг пассажирского транспорта, градостроительство и землепользование, ограничения использования автотранспорта, парковочная политика, информационное обеспечение работы транспорта.

**Выводы.** Модернизируя, восстанавливая и адаптируя транспортную инфраструктуру к современным запросам, условиям и требованиям, можно существенно повысить качества жизни в современных городах. Сформулированные предложения и рекомендации по улучшению транспортной инфраструктуры могут быть интересны обучающимся вузов архитектурных и градостроительных специальностей, профессорско-преподавательскому составу, ученым и всем, кто интересуется вопросами устойчивого развития городов.

**Ключевые слова:** транспортная инфраструктура, транспортная система, общественный транспорт, личный транспорт, массовая автомобилизация, модернизация транспортной инфраструктуры, градостроительство, транспортный каркас города.

### ВВЕДЕНИЕ

Массовая автомобилизация XX века привела к применению практики использования центра городов в качестве транзитного транспортного узла. Улично-дорожная сеть городов не рассчитана на постоянно увеличивающееся количество транспорта. Этот процесс привёл к закономерным результатам – улицы и дороги современных населённых пунктов перегружены. Увеличение ширины улицы – мероприятие технически сложно осуществимое и требующее значительных финансовых вложений. А последствиями изменения профиля улицы в пользу проезжей части, являются лишь увеличение количества личного автотранспорта.

В городах России транспортная проблема стала проблемой номер один – она влечет за собой многие неудобства, а также наносит ущерб природе и здоровью человека.

В условиях современного города, требуется полное переосмысление к подходу реконструкции транспортной системы.

**Цель исследования:** рассмотреть проблемы транспортной инфраструктуры и предложить рекомендации по ее реконструкции в условиях современного города (на примере городов Крыма).

#### **Задачи исследования:**

- изучить научную литературу, нормативно-правовые документы, касающихся темы исследования;
- изучить научно-исследовательские материалы по теме статьи;
- проанализировать современное состояние транспортной системы городов Крыма;
- провести анализ мирового опыта по реконструкции транспортной инфраструктуры;
- разработать предложения и рекомендации по реконструкции транспортной инфраструктуры в Крыму.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросы реконструкции и модернизации транспортной инфраструктуры в Российской Федерации регулируются Конституцией РФ, Гражданским Кодексом РФ, Федеральными законами (ФЗ от 8 ноября 2007 года N 259-ФЗ "Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта"; ФЗ от 10 декабря 1995 года N 196-ФЗ "О безопасности дорожного движения" и пр.) и рядом нормативно-законодательных документов [1-4]. Также в настоящее время реализуются Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года (утверждена распоряжением Правительства РФ от 22.11.2008 №1734-р).

Дудаков Д.С. в работе «Проблемы транспортного планирования в условиях развития современного градостроительства» [5] рассматривает информацию о влиянии процесса массовой автомобилизации на качество жизни а также на изменение транспортного каркаса города, а также особенности реконструкции транспортной инфраструктуры зарубежными странами. Также приведена стратегия перспективного транспортного планирования в РФ и способы оптимизации транспортной системы.

Метод интеграции технологий информационного моделирования автодорог и геоинформационных систем, а также критерии, влияющие на проектирование автодорог рассмотрены в работе Дядичева В.В., Дядичева А.В. и Менюка С.Г. [10].

В книге Яна Гейла «Города для людей» [11] проанализирован зарубежный опыт по улучшению городской жизни и создания условий для людей, в том числе, и решение транспортной проблемы. Автор рассматривает ряд градостроительных, экономических, психологических приёмов для снижению приоритета автомобильного транспорта в городе.

Вопросы необходимости учета особенностей планировки транспортной системы на законодательном уровне, а также развитие транспортной инфраструктуры в современных градостроительных реалиях в целом рассмотрены в работах: Петровича М.Л. [12], Голованова Л.А. [13], Кузьмича, С.И. [15].

Анализ литературных источников свидетельствует о том, что проблема модернизации транспортной инфраструктуры в современном мире чрезвычайно актуальна. В этой связи рассматривается и освещается с разных точек зрения специалистами в различных сферах деятельности: инженерами, градостроителями, экономистами, социологами и т.д.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе проанализированы теоретические и практические материалы, касающиеся темы

исследования, сделаны выводы. В процессе подбора материалов по теме публикации и анализа полученных результатов применены методы: дедукции, теоретического анализа и синтеза, метод аналогии.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Основная градостроительная проблема автомобильно-ориентированных городов заключается в том, что сложившиеся транспортный каркас и ткань города не соответствуют современному «идеальному уровню автомобилизации». В таком случае ширина проезжей части и транспортная инфраструктура в целом занимали бы значительно больше места, что привело бы к увеличению площади городов в несколько раз. Такой сценарий развития городов предполагает, что все свободное пространство между зданиями занимает парковками, автострадами, развязками и одновременно исключает пешее передвижение.

Анализ информации Научно-исследовательского института автомобильного транспорта позволил выделить причины неэффективности действий в сфере транспорта [6]:

- необоснованность принимаемых решений по перечню, объему, месту и времени проведения работ;

- отсутствие комплексного подхода в реализации мер по улучшению транспортной инфраструктуры;

- отсутствие постоянных источников финансирования;

- внешние ограничения (например, существующая инфраструктура);

- практическое игнорирование вопросов управления транспортным спросом;

- отсутствие взаимодействия различных органов власти [6].

В этой связи авторами рассмотрен ряд вопросов и факторов, влияющих на развитие транспортной инфраструктуры в условиях современного города.

Следствия перегруженности городской улично-дорожной сети (рис. 1). Схема наглядно демонстрирует зависимость качества транспортных услуг и число дорожно-транспортных происшествий от количества транспортных средств в городе. Увеличение количества личных транспортных средств, и одновременное отставание в градостроительном развитии улично-дорожной сети, приводит к закономерным последствиям – машин становится больше, чем может вместить транспортная инфраструктура населённого пункта. При нехватке парковочных мест, машины начинают хранить на территориях открытых общественных пространств (дворы жилых групп, пешеходные площади перед общественными зданиями и пр.). При ненормативной ширине проезжей части, образуются заторы и пробки автомашин, что приводит к временным потерям, а в случае аварий – к финансовым и физическим утратам. Простой в пробках и заторах, приводит выбросам в

окружающую среду загрязняющих веществ, а остановился» разрушительно действует на передвижение в режиме «проехал 2 метра – механизм автомобиля».



Рис. 1. Следствия перегруженности городских УДС  
 Fig. 1. Consequences of URN congestion

Факторы, определяющие уровень загруженности городских улично-дорожных сетей (рис. 2). Схема определяет взаимосвязь спроса и предложения на использование транспортного каркаса города. На пропускную способность в первую очередь влияет градостроительный фактор (планировочная и

транспортная схемы города, конфигурация и класс улиц и дорог, размещение транспортно-пересадочных узлов и пр.) [15]. От него зависят количественные и качественные показатели транспортной инфраструктуры, а также степень загруженности улично-дорожной сети.

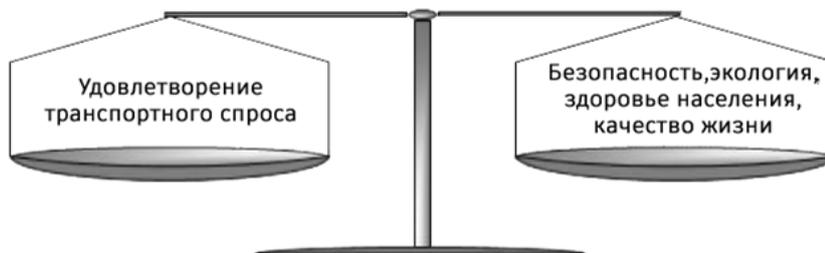


Рис. 2. Факторы, определяющие уровень загруженности городских УДС  
 Fig. 2. Factors determining the level of congestion of URN

Необходимость комплексных подходов к решению транспортных проблем в городах (рис. 3).

Количество личного автотранспорта в 21 веке неуклонно возрастает. На официальных сайтах ГИБДД, «Росстата» и агентства «Автостат» приведённые данные по автомобилизации России:

- в 1990 году средний уровень автомобилизации на территории Российской Федерации составлял 58,5 автомобилей на 1000 жителей города.
- в 2000 году - 130,5 а/м на 1000 жителей города.
- в 2010 году - 228,3 а/м на 1000 жителей города.
- в 2020 году - 315,5 а/м на 1000 жителей города [16, 17].



**Рис. 3.** Основные принципы устойчивой транспортной системы  
**Fig. 3.** Basic principles of a sustainable transport system

В этой связи возрастает и нагрузка на природное окружение: производство и эксплуатация автотранспорта приводит к загрязнению окружающей среды, что в свою очередь негативно влияет на качество жизни в городе и здоровье его жителей. Стремление к мобильности и комфорту владельца автомобиля вступает в противодействие желанию пешехода жить в безопасном, чистом городе. Решение данной проблемы может быть достигнуто лишь когда количество автотранспорта

будет соответствовать возможностям транспортной системы города.

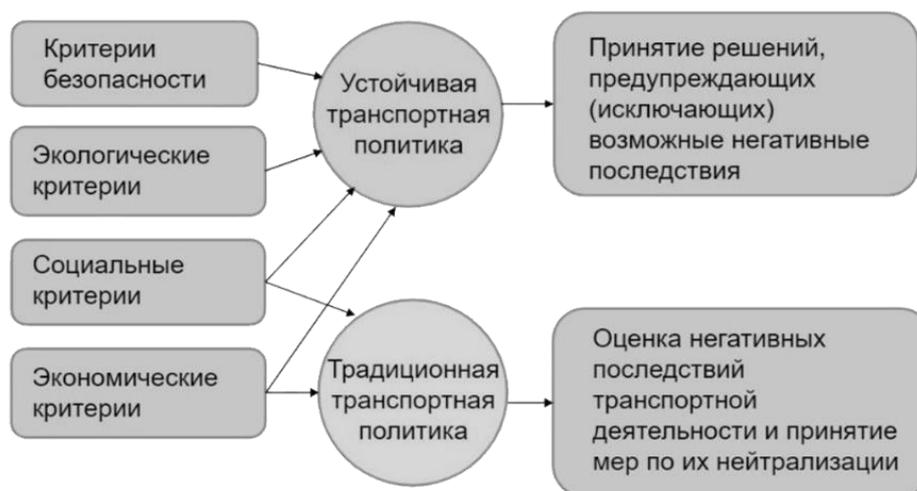
Мероприятия, направленные на обеспечение устойчивости городских транспортных систем, получили название «устойчивая городская транспортная система». На рисунке 4 перечислены основные критерии, обеспечивающие равновесие между потребностями автомобилиста и возможностями города, и, следовательно, обеспечивающие устойчивость транспортной системы города.



**Рис. 4.** Устойчивость городской транспортной системы  
**Fig. 4.** Sustainability of the urban transport system

Таким образом, основным преимуществом устойчивой транспортной системы является прогнозируемость развития транспортной

инфраструктуры, обеспечение потребностей жителей, а также исключение возможных негативных последствий (рис. 5).



**Рис. 5.** Отличие устойчивой транспортной политики от традиционной  
**Fig. 5.** The difference between a sustainable transport policy and a traditional one

В крымских городах со стороны Администрации и населения всё чаще поднимаются вопросы важности и сложности решения транспортных проблем: недостаточного развития улично-дорожных сетей; несоответствия параметров транспортной инфраструктуры прогнозируемому транспортному потоку при планировании территории; недостаточного объема и качества услуг общественного пассажирского транспорта; несоответствия современным требованиям экологических характеристик транспортных средств; недостатка актуализированной информации о текущем и прогнозируемом спросе и возможностях транспортной системы; недостаточной эффективности планирования бюджетных средств; низкой координации отраслевых планов оперативной деятельности; отсутствия системы мониторинга результатов деятельности транспортного комплекса и др.

В ходе исследования авторами также был проанализирован мировой опыт развития и модернизации транспортной инфраструктуры. Выявлено, что за последние года в зарубежных странах особое внимание уделяется решению проблем улично-дорожной сети крупнейших и крупных городов. Наибольших успехов в развитии единой транспортной инфраструктуры достигли: Великобритания, Германия, Япония, Швеция, и Нидерланды. Был реализован ряд административных градостроительных решений направленных на улучшение городской жизни и создание условий для пешеходов и велосипедистов. Это позволило снизить количество личного автотранспорта. За последние 50 лет дорожно-транспортная инфраструктура стала более разнообразной, были выработаны подходы к сокращению трафика и принят ряд мер по обеспечению безопасности дорожного движения [13].

Германия отличается высоким развитием всех видов транспорта: автобаны считаются лучшими в Европе, основные направление железных дорог

электрифицированы. Транспортная политика Германии определяется целым комплексом общегосударственных документов: концепцией, стратегическими (до 10 лет), тактическими (5 лет) и оперативными (до 1 года) планами, которые включают национальные планы развития, как отдельных отраслей транспорта, так и транспортной инфраструктуры [7].

Великобритания: В начале 2014 года в Лондоне стали устанавливать «умные» датчики парковки. Водители, пользующиеся специальным приложением, смогут быстрее найти парковочное место за счет установки подобных датчиков. Также в Лондоне введена плата за въезд на автомобиле в центр города.

Япония: Токио традиционно считался городом с сильными транспортными заторами. В 1995 году в Токио открылся Центр управления транспортом, главная задача которого – оптимизация движения колесного наземного транспорта за счёт сбора данных с различных датчиков, которые определяют плотность транспортного потока и передают данные в Центр. В свою очередь сигналы с датчиков поступают на проезжающие мимо автомобили. Благодаря этому водители могут выбрать оптимальный маршрут движения, огибающий большинство пробок [8].

Нидерланды: Хорошо развитая транспортная инфраструктура, разветвленная сеть авто- и железнодорожных дорог, скоростных трасс охватывают всю страну, обеспечивая легкость и быстроту сообщения с любым населенным пунктом. В городах действует единая городская система транспорта (GVB – Gemeente Vervoerbedrijf: Амстердамская муниципальная транспортная компания) включающая трамваи, троллейбусы и автобусы. В Нидерландах широко развит велотранспорт (Амстердам называют велосипедной столицей Европы), что предполагает наличие велодорожек, парковок, светофоров [9].

Швеция: Внутри страны хорошо развито междугороднее железнодорожное движение.

Шведские дороги имеют очень высокое качество строительства. За пределами крупных городов они часто сужаются до двух полос. Однако при этом всегда есть широкая обочина для обеспечения безопасности. На въезде в столицу расположены электронные информационные табло, которые указывают свободные места на парковках и гаражах, а также имеются платные уличные стоянки. Почти все автодороги оборудованы специальными велосипедными дорожками [10].

Анализ нормативно-правовой базы некоторых стран Европейского Союза позволил выявить, что для транспортного планирования в настоящее время характерны три основных подхода:

1. Возложение полномочий по разработке правовой, организационной и методической основы для регионального и местного транспортного

планирования на национальные органы управления транспортом.

2. Делегирование полномочий по разработке и осуществлению транспортных планов и транспортной политики региональным властям и муниципалитетам.

3. Закрепление на законодательном уровне требований по координации планов развития городского транспорта с планами в сфере градостроительства, землепользования и охраны окружающей среды [6].

Для поддержания пропускной способности дорожной сети применение плана по расширению основных магистральных улиц, строительству новых развязок и парковок не приводит к решению данной проблемы на длительное время. Поэтому выдвинут комплекс направлений и мер по решению данной проблемы.



Рис. 6. Направления решения проблемы перегруженности городских улично-дорожных сетей

Fig. 6. Directions for solving the problem of congestion of urban road networks

Основные принципы решения транспортных проблем городов.

– развитие / реконструкция транспортного каркаса города;

– модернизация работы общественного пассажирского транспорта (выделение отдельных полос для общественного транспорта, введение современных систем диспетчеризации и контроля движения, развитие метро, скоростного трамвая и др., строительство транспортно-пересадочных узлов, внедрение современных систем оплаты проезда, информационно-коммуникационных систем и др.);

– интеграция технологий Информационного моделирования зданий (ВМ) и Геоинформационных систем (ГИС) в процесс

проектирования, строительства и эксплуатации элементов транспортной инфраструктуры [14].

– введение в эксплуатацию экологически чистого транспорта;

– контроль качества и экологических характеристик используемого топлива;

– совершенствование парковочной политики, в т.ч. создание перехватывающих парковок;

– разработка проектов развития велосипедного движения в городах [6].

Рекомендации для обеспечения «устойчивости» городских транспортных систем:

– принятие законодательных и нормативных правовых актов, регулирующих круг вопросов, связанных с транспортным планированием, организацией дорожного движения, стимулированием производства и использования

экологически более чистых автомобильных транспортных средств и топлив, развитием немоторизованных видов передвижения;

– четкое разграничение сфер ответственности и полномочий различных органов власти в данных сферах при одновременном обеспечении координации их деятельности на федеральном, региональном и местном уровне;

– разработка городских транспортных планов, включающих меры, направленные на регулирование транспортного спроса;

– повышение качества услуг общественного пассажирского транспорта, повышение его доступности для всех категорий населения, создание безбарьерных городских транспортных систем, приоритетное развитие городского электротранспорта, развитие систем метро, скоростного трамвая, и др.;

– ограничение использования личного легкового автотранспорта на отдельных городских территориях или в определённые дни недели;

– создание инфраструктурных условий для передвижения на велосипеде, электро-самокатах, моноколёсах и пр.;

– развитие пешеходной инфраструктуры (обеспечение солнцезащиты над транзитной зоной; размещение зон для отдыха, оборудованных лавочками, мусорными урнами; размещение

приборов ночного освещения, обеспечение качества тротуарного покрытия и пр.);

– развитие информационных и телекоммуникационных систем на городском транспорте;

– разработка и реализация парковочной политики, создание единых городских парковочных пространств;

– внедрение эффективных систем управления городскими перевозками грузов и грузовой логистики, выведение транзитных путей междугородних перевозок грузов за пределы населённых пунктов;

– меры по улучшению связанности городских территорий за счет строительства и реконструкции отдельных элементов улично-дорожной сети;

– расширение использования альтернативных видов топлива и возобновляемых источников энергии при обслуживании и эксплуатации городского транспорта;

– создание механизмов устойчивого финансирования в сфере организации дорожного движения и развития общественного пассажирского транспорта [6].

В результате проведённого исследования были сформулированы предложения и рекомендации по реконструкции транспортной системы в Крыму (рис.7).

Категории	Предложения по модернизации транспортной системы
Повышение качества услуг пассажирского транспорта	Оптимизация существующей маршрутной сети и организация новых маршрутов
	Предоставление общественному пассажирскому транспорту приоритета в дорожном движении
	Обустройство «перехватывающих парковок» в стыковке с остановками ОПТ
	Оптимизация тарифов на общественном пассажирском транспорте
	Координация работы различных видов ОПТ, организация мультимодальных пассажирских перевозок
Градостроительство и землепользование	«Транспортная экспертиза» документов градостроительного планирования и инвестиционных проектов
	Обеспечение максимальной «транспортной самодостаточности» городских районов
	Переход к «полицентрической» модели развития городской территории
Ограничения использования автотранспорта	Частичный или полный административный запрет на въезд определенного класса АТС на отдельные городские территории
	Установление платы за проезд по отдельным городским дорогам
	Установление платы за въезд на отдельные городские территории
	Налоговое регулирование использования автотранспортных средств
Парковочная политика	Административный запрет парковки на проезжей части
	Взимание платы за парковку
	Строительство внеуличных стоянок
	Ограничение времени парковки
	Ограничение числа доступных парковочных мест
Информационное обеспечение работы транспорта	Внедрение электронных систем информирования водителей АТС о дорожной ситуации
	Внедрение электронных систем информирования пассажиров общественного городского транспорта
	Мониторинг транспортных потоков и ситуации на дороге
	Внедрение систем оперативного Информирования о ДТП
	Проведение информационных кампаний по оптимизации «транспортного поведения» горожан

Рис 7. Предложения и рекомендации по реконструкции транспортной системы в Крыму  
Fig. 7. Some measures that can be applied in the Crimea to regulate transport demand

## ВЫВОДЫ

1. Исходя из проведённого анализа нормативно-правовых документов и научной литературы можно заключить, что данная проблема актуальна и всесторонне изучается. Однако отсутствует универсальное её решение.

2. На основании исследований ОАО «НИИАТ» рассмотрены вопросы: следствие перегруженности городской улично-дорожной сети; факторы, определяющие уровень загруженности городских улично-дорожной сети; необходимость комплексных подходов к решению транспортных проблем в городах; устойчивость городской транспортной системы; отличие устойчивой транспортной политики от традиционной.

3. Сформулирован ряд проблем характерных транспортной инфраструктуре городов Крыма:

- недостаточное развитие улично-дорожных сетей;
- несоответствие параметров транспортной инфраструктуры прогнозируемому транспортному потоку при планировании территории;
- недостаточный объем и качество услуг общественного пассажирского транспорта;
- несоответствие современным требованиям экологических характеристик транспортных средств;
- недостаток актуализированной информации о текущем и прогнозируемом спросе и возможностях транспортной системы;
- недостаточная эффективность планирования бюджетных средств;
- низкая координация отраслевых планов оперативной деятельности;
- отсутствие системы мониторинга результатов деятельности транспортного комплекса и др.

Проанализирован мировой успешный опыт модернизации транспортной инфраструктуры наиболее развитых стран мира: Великобритания, Германия, Япония, Швеция, и Нидерланды.

В результате исследования разработаны предложения рекомендации по реконструкции транспортной инфраструктуры в Крыму по следующим критериям: повышение качества услуг пассажирского транспорта, градостроительство и землепользование, ограничения использования автотранспорта, парковочная политика, информационное обеспечение работы транспорта.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 42.13330.2011 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений».
2. СП 396.1325800.2018 «Улицы и дороги населенных пунктов»
3. СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги».
4. СП 113.13330.2016 «Стоянки автомобилей».
5. Проблемы транспортного планирования в условиях развития современного градостроительства [Электронный ресурс]. – Режим

доступа: [https://marhi.ru/AMIT/2016/4kvart16/PDF/AMIT\\_2016-4\(37\)\\_Dudakov\\_PDF.pdf](https://marhi.ru/AMIT/2016/4kvart16/PDF/AMIT_2016-4(37)_Dudakov_PDF.pdf)

6. Достижение устойчивого развития транспортных систем в городах России: проблемы, вызовы и риски г. Москва Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта (ОАО «НИИАТ») Международный семинар на тему: «Устойчивое развитие городских транспортных систем: вызовы и возможности» в рамках общеевропейской Программы по транспорту, окружающей среде и охране здоровья (ОПТОСОЗ) 7-8 июня 2012 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа к семинару: <https://slideplayer.com/slide/8577627/>

7. Транспорт Германии: виды и развитие. Транспорт Германии: общественный и личный [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zizuhotel.ru/work-blogger/transport-germanii-vidy-i-razvitie-transport-germanii>

8. Зарубежный опыт развития транспортной инфраструктуры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://studref.com/321491/informatika/zarubezhnyu\\_opyt\\_razvitiya\\_transportnoy\\_infrastruktury](https://studref.com/321491/informatika/zarubezhnyu_opyt_razvitiya_transportnoy_infrastruktury)

9. Транспортная система Нидерландов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://europa.russian-travels.ru>

10. Транспорт Швеции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://luckycamper.net/country/швеция>

11. Города для людей / Ян Гейл. Изд. на русском языке – Концерн «КРОСТ» пер. с англ. – М.: Альпина Паблишер. 2012. - стр. 3-9, 19, 29, 43-44.

12. Петрович М.Л. «Градостроительный подход к решению транспортных проблем города» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/gradostroitelnyy-podhod-k-resheniyu-transportnyh-problem-gorodov/viewer>

13. Голованова Л.А. «Зарубежный опыт реформирования транспортной инфраструктуры территорий» / Л.А. Голованова, М.А. Данильчук [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://pnu.edu.ru/media/ejournal/articles-2017/TGU\\_8\\_143.pdf](https://pnu.edu.ru/media/ejournal/articles-2017/TGU_8_143.pdf)

14. Дядичев В.В., Менюк С.Г., Дядичев А.В. Методы совершенствования информационных систем планирования расположения автомобильных дорог в зоне ответственности автодорожного предприятия // Строительство и техногенная безопасность. – 2018. – № 13 (65). – С. 77-84.

## REFERENCES

1. SP 42.13330.2011 «Gradostroitel'stvo. Planirovka i zastrojka gorodskih i sel'skih poselenij».
2. SP 396.1325800.2018 «Ulicy i dorogi naseleennyh punktov».
3. SP 34.13330.2012 «Avtomobil'nye dorogi».
4. SP 113.13330.2016 «Stoyanki avtomobilej».

5. Problemy transportnogo planirovaniya v usloviyah razvitiya sovremennogo gradostroitel'stva [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa k stat'e: [https://marhi.ru/AMIT/2016/4kvart16/PDF/AMIT\\_2016-4\(37\)\\_Dudakov\\_PDF.pdf](https://marhi.ru/AMIT/2016/4kvart16/PDF/AMIT_2016-4(37)_Dudakov_PDF.pdf)
6. Dostizhenie ustojchivogo razvitiya transportnyh sistem v gorodah Rossii: problemy, vyzovy i riski g. Moskva Nauchno-issledovatel'skij institut avtomobil'nogo transporta (OAO «NIAT») Mezhdunarodnyj seminar na temu: «Ustojchivoe razvitie gorodskih transportnyh sistem: vyzovy i vozmozhnosti» v ramkah obshcheevropejskoj Programmy po transportu, okruzhayushchej srede i ohrane zdorov'ya (OPTOSOZ) 7-8 iyunya 2012 goda [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa k seminaru: <https://slideplayer.com/slide/8577627/>
7. Transport Germanii: vidy i razvitie. Transport Germanii: obshchestvennyj i lichnyj [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://zizuhotel.ru/work-blogger/transport-germanii-vidy-i-razvitie-transport-germanii>
8. Zarubezhnyj opyt razvitiya transportnoj infrastruktury [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: [https://studref.com/321491/informatika/zarubezhnyy\\_o\\_pyt\\_razvitiya\\_transportnoj\\_infrastruktury](https://studref.com/321491/informatika/zarubezhnyy_o_pyt_razvitiya_transportnoj_infrastruktury)
9. Transportnaya sistema Niderlandov [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://europa.russian-travels.ru>
10. Transport SHvecii [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://luckycamper.net/country/shveciya/vse-o-shvecii/4803-transport-shvecii>
11. Goroda dlya lyudej / YAn Gejl. Izd. na russkom yazyke -Koncern «KROST» per. s angl. – M.: Al'pina Publisher. 2012. -str. 3-9, 19, 29, 43-44.
12. Petrovich M.L. «Gradostroitel'nyj podhod k resheniyu transportnyh problem goroda» [Elektronnyj resurs]. M.L. Petrovich – Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/gradostroitelnyy-podhod-k-resheniyu-transportnyh-problem-gorodov/viewer>
13. Golovanova L.A. «Zarubezhnyj opyt reformirovaniya transportnoj infrastruktury territorij» [Elektronnyj resurs]. L.A. Golovanova, M.A. Danil'chuk – Rezhim dostupa: [https://pnu.edu.ru/media/ejournal/articles-2017/TGU\\_8\\_143.pdf](https://pnu.edu.ru/media/ejournal/articles-2017/TGU_8_143.pdf)
14. Dyadichev V.V., Menyuk S.G., Dyadichev A.V. Metody sovershenstvovaniya informacionnyh sistem planirovaniya raspolozheniya avtomobil'nyh dorog v zone otvetstvennosti avtodorozhnogo predpriyatiya // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost' – 2018. – № 13 (65). – С. 77-844.

PROBLEMS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE AND RECOMMENDATIONS FOR ITS  
RECONSTRUCTION IN THE CONDITIONS OF A MODERN CITY (ON THE EXAMPLE OF THE  
CITIES OF THE REPUBLIC OF CRIMEA)

Zhivitsa V.V., Privalova E.N.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Academy of Construction and Architecture,  
295493, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya Street, 181  
Ennifer2000@mail.ru

**Abstract.** The article deals with the problem of transport infrastructure development in modern cities. The relationship of mass motorization with the quality of the urban environment and the development of the transport framework is analyzed. Examples of the modernization of the transport system and the humanization of the urban environment from the world urban planning practice are given. The authors formulated a number of recommendations for the reconstruction of the transport infrastructure on the example of the Crimea.

**The subject of the study.** Transport infrastructure of cities.

**Materials and methods.** In the course of the work, an analysis of the literature on the topic of the study was carried out and the main directions of the development of transport infrastructure were identified based on the analysis of world experience in its modernization. methods are applied: deduction, theoretical analysis and synthesis, the method of analogy.

**Results.** The study of the main urban planning problems of automobile-oriented cities (including the cities of the Crimea) was carried out. Based on the analysis, general recommendations for the reconstruction of the transport infrastructure of the Crimea are derived. Based on the analysis of regulatory documents and scientific literature, we can conclude that this problem is relevant and is being comprehensively studied. However, there is no unified solution to it. Based on the research of JSC NIIAT, the following issues are considered: the consequences of congestion of the urban road network; factors that determine the level of congestion of the urban road network; the need for integrated approaches to solving transport problems in cities; the stability of the urban transport system; the difference between a sustainable transport policy and the traditional one. A number of problems characteristic of the transport infrastructure of the cities of the Crimea are formulated. The world's successful experience of modernizing the transport infrastructure of the most developed countries of the world is analyzed: Great Britain, Germany, Japan, Sweden, and the Netherlands. As a result of the study, proposals and recommendations for the reconstruction of transport infrastructure in the Crimea were developed according to the following criteria: improving the quality of passenger transport services, urban planning and land use, restrictions on the use of motor vehicles, parking policy, information support for transport operations.

**Conclusions.** By modernizing, restoring and adapting the transport infrastructure to modern needs, conditions and requirements, it is possible to significantly improve the quality of life in modern cities. The formulated proposals and recommendations for improving the transport infrastructure may be of interest to students of universities of architectural and urban planning specialties, faculty members, scientists and anyone interested in sustainable urban development.

**Key words:** transport infrastructure, transport system, public transport, personal transport, mass motorization, modernization of transport infrastructure, urban planning, transport framework of the city.

## ОРГАНИЧЕСКАЯ АРХИТЕКТУРА И КЛАССИФИКАЦИЯ ЕЁ НАПРАВЛЕНИЙ

Стрибань А.И.<sup>1</sup>, Мосякин Д.С.<sup>2</sup>

Академия строительства и архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»  
295493, Республика Крым, г. Симферополь, улица Киевская, 181  
E-mail: info@cct-crimea.ru<sup>1</sup>, mosyakin\_dmitriy@mail.ru<sup>2</sup>

**Аннотация.** В современной обстановке, крайне напряженной, динамичной и агрессивной, человеку стоит быть в гармоничном отношении с природой всегда и везде, особенно в городе. Эта идея лежит в основе современных тенденций органической архитектуры.

**Предмет исследования:** Органическая архитектура

**Материалы и методы:** анализ источников и мировых аналогов в области применения и внедрения органической архитектуры.

**Результаты:** выявлены отличительные черты органической архитектуры, произведен анализ ее классификации и охарактеризованы направления данного вида архитектуры

**Выводы:** Органическая архитектура имеет много направлений и активно развивается в современном мире. Такая архитектура способствует возникновению новых импульсов архитектурного мышления и служит правильным примером отношения к природе с учётом научно-технического прогресса.

**Ключевые слова:** органическая архитектура, органический подход, принцип органической целостности, «landform» архитектура, «зеленая» архитектура, экологическая архитектура, био-архитектура.

## ВВЕДЕНИЕ

Разнообразные стилевые поиски, концепции, творческие методологии— всё это характерно для современной архитектуры. Однако, среди всей её многогранности, можно выделить органический подход, который ориентирован на внедрение в архитектуру закономерностей и принципов живой природы. Данный подход задействует, так называемая, органическая архитектура, идеи которой сформулировал американский архитектор Луис Генри Салливан в 1890-х гг [1].

Органическая архитектура—это архитектура реализующая принцип органической целостности в структуре «человек—архитектура—ландшафт», гармонирующая с естественной окружающей средой, что в последствии положительным образом сказывается на психическом и физическом состоянии человека [2]. Реализация принципа органической целостности способствует созданию сложной, но активной, объединяющей и эволюционирующей среды, которая служит для размещения разных людей беря в учёт их индивидуальные потребности.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Окружающая среда находит отражение во многих аспектах жизни человека, как следствие во многом определяя его будущее. По этой причине, вопрос среды, в которой человек живёт и развивается, весьма актуален. Как следствие это послужило толчком к тому, что в последнее время, всё больше архитекторов выбирают проекты направленные на улучшение жизни людей и экологической обстановки в настоящем и будущем.

Органический стиль и имеет прямое отношение к экологии. Новая органическая архитектура направлена на создание зданий и сооружений,

представляющих собой естественное продолжение природы, не вступающее с ней в конфликт. Данная архитектура в перспективе направлена на создание экодому. Они представляют собой энергоэффективные здания, имеющие независимые системы жизнеобеспечения и конструкции с предусмотренными комплексами инженерного оборудования. При строительстве таких экодому применяются строительные конструкции и материалы, являющиеся экологически безопасными для человека [3].

Применение органического подхода при проектировании даёт объектам возможность развития изнутри, постоянной эволюции и возможности самосовершенствования, и как следствие, постепенного превращения в целые системы, любой компонент которых является вполне самостоятельным.

Данный подход присутствовал в деятельности проектировщиков на протяжении всего развития архитектуры. Характер эволюции органического подхода обуславливается развитием научного знания проектных и строительных методов в архитектуре, а также научными открытиями других дисциплинарных полей: биологии, химии, физике, генной инженерии, информационных технологиях и т.д.

Специфика такого подхода при проектировании определяется принципами и методами формирования, которые интерпретируются с помощью индивидуальных приемов проектирования в каждом из современных направлений новой органической архитектуры. Образно-композиционный арсенал новейшей архитектуры представлен такими направлениями как «landform» архитектура, «зеленая» архитектура, экологическая архитектура, био-архитектура, и основывается на принципах, а также методах органического подхода.

## КЛАССИФИКАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ОРГАНИЧЕСКОЙ АРХИТЕКТУРЫ

### «Landform» архитектура

Лэндформная архитектура—это архитектура, которая формируется по средствам интеграции объекта с поверхностью земли и, перенимая законы её формообразования, становится гармоничным продолжением. Общий признак лежащий в основе

данной архитектуры—это размытие границы слияния двух творений, созданных природой и человеком. Для каждой местности применяется индивидуальная методика работы, которая берёт в учёт различные факторы, такие как: тип земельного покрова, геологические условия и сложившуюся вокруг архитектурную среду [4].

Можно выделить определённые способы взаимодействия здания и рельефа. Рассмотрим примеры такого взаимодействия на схемах, представленных ниже (Рис. 1-4).



Рис. 1. Способы взаимодействия здания с рельефом. (Автор не известен)  
 Fig. 1. Methods of interaction of the building with the terrain. (The author is not known)



Рис. 2. Способы взаимодействия здания с рельефом. (Автор не известен)  
 Fig. 2. Ways of interaction of the building with the terrain. (The author is not known)



Рис. 3. Способы взаимодействия здания с рельефом. (Автор не известен)  
Fig. 3. Ways of interaction of the building with the terrain. (The author is not known)



Рис. 4. Способы освоения глубоких впадин. (Автор не известен)  
Fig. 4. Methods of developing deep depressions. (The author is not known)

Здания, построенные в данном стиле, имеют отличительную особенность, представляющую собой пространство, а именно способ связи внутреннего и внешнего пространств между собой. Благодаря такой взаимосвязи возникает понятие перетекающего пространства изнутри наружу и наоборот.

Архитектура «Landform» прекрасно подходит для благоустройства городской среды, что в принципе можно назвать своего рода особенностью.

Благодаря ей возможно грамотно организовать различные человеческие и транспортные потоки, а также поправить экологическое состояние города добавив больше природы, которой порой так недостаёт.

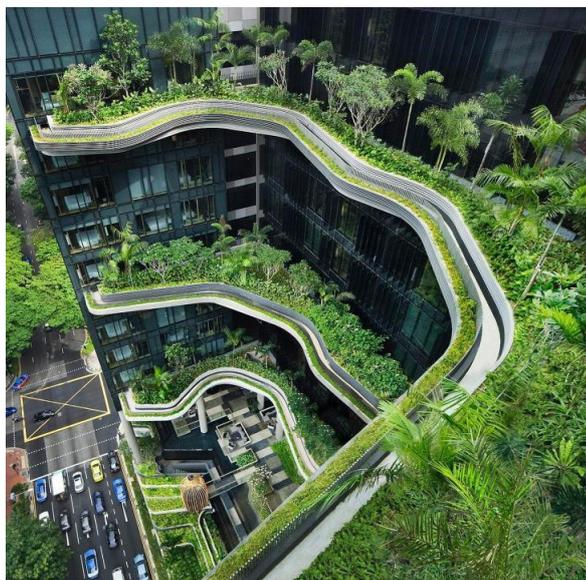
#### «Зелёная» архитектура

Зелёная архитектура – архитектура основной задачей которой является проектирование и

строительство зданий, оказывающих на окружающую среду минимальное воздействие.

Она берёт свое начало в середине 70-х годов, после того как очередной энергетический кризис, настигший запад, заставил людей заметить проблемы окружающей среды и озаботиться сохранением природных ресурсов. Страны имеющие мягкий климат и короткую зиму весьма активно начали использовать идеи данной архитектуры. Главные города мира стали превращать крыши, стены и фасады своих зданий в целые сады [5].

Факторы строительства в такой архитектуре сконцентрированы так, что природные ресурсы могут быть эффективно использоваться для защиты здоровья домовладельца, уменьшения воздействия



**Рис. 5.** Отель-сад ParkRoyal в Сингапуре. Разработан архитектурным бюро WOHA.

**Fig. 5.** ParkRoyal Garden Hotel in Singapore. Designed by the architectural firm WOHA.

### Эко-архитектура

Эко-архитектура или устойчивая архитектура – это архитектура, направленная на то, чтобы минимизировать негативное экологическое воздействие зданий, на эффективное и умеренное использование материалов, энергии и пространств [6].

Одной из отличительных черт такой архитектуры является активное задействование солнечной и ветровой энергии, а также сбор и переработка дождевой воды.

На сегодняшний день принципы данной архитектуры определены довольно чётко.

1) Материалы, используемые для строительства, должны быть экологически чистыми.

2) Применение альтернативных энергосберегающих источников энергии.

отходов, улучшения состояния окружающей среды, а также для обеспечения всем необходимого при строительстве, не оказывая влияние на растительный мир.

Ключевой фактор зелёной архитектуры – это то, что при помощи экологически чистых технологий и ресурсов осуществляется весь процесс, начинающийся с идеи и заканчивающийся разрушением.

Основные принципы такой архитектуры реализуются благодаря введению в структуру здания элемента природы, мер по энергосбережению и композиционной целостности с окружающей средой.

Примеры зелёной архитектуры представлены на Рисунках 5-6.



**Рис. 6.** Отель Athenaeum в Лондоне.

Западная стена из живых растений. спроектированная и засаженная Патриком Бланом.

**Fig. 6.** The Athenaeum Hotel in London.

The western wall is made of living plants. designed and planted by Patrick Blanc.

3) Отходы утилизируются правильными способами.

4) Использование комфортной и здоровой для человека систем отопления и охлаждения при помощи поверхностей, которые излучают и передают тепло напрямую.

5) Правильное и качественное утепление стен для экономии энергии.

6) Внутренняя отделка природными материалами, которые способны обеспечить в помещении увлажнённый воздух.

7) Обеспечение постоянного притока воздуха по средствам создания приточно-вытяжной вентиляции.

8) Грамотное проектирование и компактность форм [6].

Soleta ZeroEnergy One – был одним из первых проектов соблюдающем традиции эко-архитектуры (Рис 7).



**Рис. 7.** Проект дома из натуральных материалов. Зеленый дом в Бухаресте от FITS  
**Fig. 7.** Project of a house made of natural materials. Green house in Bucharest by FITS

**Био-архитектура (био-тек или бионика)**

Био-тек (бионика) – это направление архитектуры, в которой конструктивная выразительность здания или сооружения достигается путём подражания природным формам.

Этот стиль все еще продолжает активно развиваться, в связи с чем градостроительная практика еще не сильно велика.

Одна из задач архитектурной бионики – это создание архитектурных форм, повторяющие элементы красоты и гармонии присущие живой

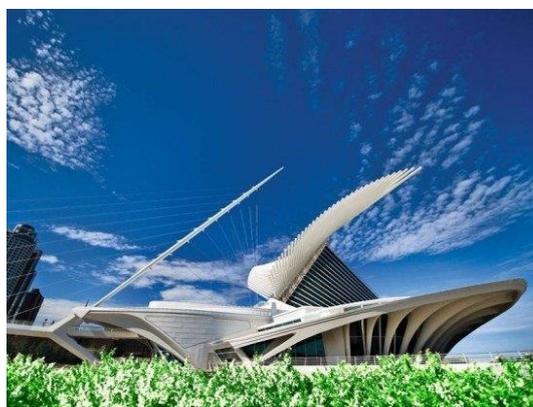
природе, и при этом функционально обоснованные [7].

Помимо этого, весьма актуален для био-тека поиск архитектурно-технических решений, которые могут позволить использование экологически чистых видов энергии – энергию солнца, ветра и т.п.

Примерами такой архитектуры являются такие проекты как: Здание-ракушка в Южной Корее (Рис.8) и Музей Милуока на берегу озера Мичиган (Рис.9).



**Рис. 8.** Здание-ракушка в Южной Корее от студии OODA.  
**Fig. 8.** Shell building in South Korea by OODA Studio.



**Рис. 9.** Музей милуока на берегу озера мичиган спроектирован сантьяго калатрава милуоки  
**Fig. 9.** Milwaukee Museum on the shore of Lake Michigan designed by Santiago Calatrava Milwaukee

**ВЫВОД**

За время своего существования органическая архитектура сохранила свои первоначальные принципы и идеи. Она имеет много направлений и активно развивается в современном мире.

Такая архитектура способствует возникновению новых импульсов архитектурного мышления и служит правильным примером отношения к природе с учётом научно-технического прогресса.

Все большее количество современных архитекторов выбирают для создания своих шедевров органический стиль. Она также помогает архитекторам через их проекты проповедовать свою философию и идеи гармоничного взаимодействия архитектурных объектов с природной средой.

В современном мире существует множество строительных материалов и конструкций способных удовлетворить требованиям органической архитектуры. Но с её дальнейшим развитием, необходимы также исследования

возможностей цифровых технологий и инновационных материалов, с их последующим внедрением, для создания новой городской среды.

Наше будущее за органической архитектурой с её прекрасными, способными удивлять формами, так чарующие наше воображение своими воплощениями и идеями.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Луис Генри Салливан – создатель небоскребов/ [Электронный ресурс].– Режим доступа:  
<https://www.radidomapro.ru/ryedktzij/arkhitektura/legendaryarchitecture/luis-genri-sullivan-sozdatelig-neboskrebov-4613.php>
2. Иванова С.И. Органическая архитектура // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2014.
3. Органическая архитектура Райта / [Электронный ресурс].– Режим доступа:  
<http://www.zs-z.ru/zagorodnoe-stroitelstvo/arkhitektura-i-dizajn/organicheskaya-arkhitektura-rajta.html>
4. Landform / [Электронный ресурс].– Режим доступа:  
<http://arxatlam.blogspot.com/2014/12/landform.html>
5. Зеленая архитектура / [Электронный ресурс].– Режим доступа:  
<http://landscape.totalarch.com/node/164>

6. Эко-архитектура / [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://www.hisour.com/ru/eco-architecture-28943/>

7. Бионика / [Электронный ресурс].– Режим доступа: [http://novikov-architect.ru/organic\\_arch.htm](http://novikov-architect.ru/organic_arch.htm)

## REFERENCES

1. Louis Henry Sullivan-the creator of skyscrapers/ [Electronic resource]. – Access mode:
2. <https://www.radidomapro.ru/ryedktzij/arkhitektura/legendaryarchitecture/luis-genri-sullivan-sozdatelig-neboskrebov-4613.php-open>
3. Ivanova S. I. Organic architecture // International scientific and technical conference of young scientists of BSTU named after V.G. Shukhov. – 2014.
4. Organic architecture of Wright / [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.zs-z.ru/zagorodnoe-stroitelstvo/arkhitektura-i-dizajn/organicheskaya-arkhitektura-rajta.html>
5. Landform / [Electronic resource]. – Access mode:  
<http://arxatlam.blogspot.com/2014/12/landform.html>
6. Green architecture / [Electronic resource]. - Access mode: <http://landscape.totalarch.com/node/164>
7. Eco-architecture / [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.hisour.com/ru/eco-architecture-28943/>
8. Bionika / [Electronic resource]. – Access mode: [http://novikov-architect.ru/organic\\_arch.htm](http://novikov-architect.ru/organic_arch.htm)

## ORGANIC ARCHITECTURE AND CLASSIFICATION OF ITS DIRECTIONS

Striban A. I. <sup>1</sup>, Mosyakin D. S. <sup>2</sup>

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Academy of Construction and Architecture  
E-mail: [info@cct-crimea.ru](mailto:info@cct-crimea.ru)<sup>1</sup>, [mosyakin\\_dmitriy@mail.ru](mailto:mosyakin_dmitriy@mail.ru)<sup>2</sup>

**Abstract:** In a modern environment, extremely tense, dynamic, and aggressive, a person should be in a harmonious relationship with nature always and everywhere, especially in the city. This idea is at the heart of modern trends in organic architecture.

**The subject of research:** Organic Architecture

**Materials and methods:** analysis of sources and world analogs in applying and implementing the organic architecture.

**Results:** the distinctive features of the organic architecture are identified, its classification is analyzed, and the directions of this type of architecture are characterized

**Conclusions:** Organic architecture has many directions and is actively developing in the modern world. Such architecture contributes to the emergence of new impulses of architectural thinking and serves as a correct example of the attitude to nature, taking into account scientific and technological progress.

**Key words:** organic architecture, organic approach, the principle of organic integrity, "landform" architecture, "green" architecture, ecological architecture, bio-architecture.

## АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДВОРОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ СРЕДНЕЙ ЭТАЖНОСТИ. РЕКОНСТРУКЦИЯ КАК НОВАЯ ЖИЗНЬ СТАРЫХ ДВОРОВ

Мосякин Д.С.<sup>1</sup>, Витэк О.И.<sup>2</sup>

Академия строительства и архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»  
295493, Республика Крым, г. Симферополь, улица Киевская, 181  
E-mail: mosyakin\_dmitriy@mail.ru<sup>1</sup>, oksanavitek@gmail.com<sup>2</sup>

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются актуальные проблемы дворовых территорий среднеэтажной многоквартирной жилой застройки, реконструкция дворовых пространств. Для статьи был проведен детальный анализ существующей практики в этом направлении, проанализированы запросы и потребности населения и определены общие проблемы дворовых пространств и их функционально-планировочной организации. Важным актуальным вопросом является реконструкции дворов. Реконструкция – это способ решения проблем, с которыми ежедневно приходится сталкиваться жильцам дворовых пространств, неудовлетворяющих их потребностям. Основное внимание в статье уделяется именно данным вопросам. На примере тщательного разбора двора убедительно доказывается необходимость реконструкции дворов и тем самым, создания для них новой жизни

**Предмет исследования:** дворовые территории многоквартирных домов средней этажности, нуждающиеся в реконструкции

**Материалы и методы:** решение поставленных задач исследования осуществлялось при помощи анализа научных, литературных и нормативных источников, интернет поиска и анализа существующих дворов, нуждающихся в реконструкции

**Результаты:** выявление, уточнение, углубление, методологическое обоснование сущности, природы, структуры реконструкции дворовых пространств; анализ реального состояния функционально-планировочной организации общественного пространства жилых дворов в условиях реконструкции, анализ состояния динамики, внутренних противоречий развития; выявление путей и средств повышения эффективности совершенствования дворовых пространств многоквартирных домов средней этажности

**Выводы:** итогом исследований автора стала разработка актуальных и целесообразных рекомендаций по реконструкции дворовых пространств многоквартирных жилых домов средней этажности

**Ключевые слова:** Реконструкция, дворовые территории, благоустройство, среднеэтажная застройка.

### ВВЕДЕНИЕ

В общем понимании, двор является переходной ступенью от личного пространства квартиры к территории общегородского пользования. Именно двор - основа комфортабельной среды обитания. Развитие функциональной, комфортной и художественно-выразительной пространственной среды всегда было и остается важным вопросом. При формировании пространственной среды нередко совершаются ошибки. Многие из них зарождаются еще на этапе проектирования. Реконструкция дворового пространства является важным трудоемким аспектом градостроительной деятельности. Для обеспечения удобства жителей необходима реконструкция дворов, которые утратили свою функциональную наполненность, либо изначально ее не имели. Только придерживаясь основных градостроительных принципов при проектировании дворовых пространств можно создать двор, отвечающий современным стандартам и требованиям.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Жилой двор является неотъемлемой частью жилой среды. Его качество непосредственно влияет на качество самого жилья. Поэтому грамотный подход к проектированию современных жилых

комплексов включает в себя выявление соответствующих решений дворового пространства [1].

К сожалению, современные дворовые пространства находятся в неудовлетворительном состоянии. Созданием комфортной благоустроенной среды дворового пространства занимаются в основном в новых микрорайонах, а в существующей городской застройке этому вопросу не уделяется должного внимания.

В настоящее время существуют такие проблемы на территории дворов многоквартирных домов средней этажности:

1. Нерациональное использование территорий, предназначенных для благоустройства под организацию парковок (рис. 1,2). Одной из основных проблем является чрезмерная автомобилизация и недостаток парковочных мест. Стихийная парковка автомобилей внутри двора создает не только зрительный дискомфорт, но и ограничивает доступ к озелененным пространствам. Основная масса автомобилей размещается прямо во дворе, а именно на пешеходных тротуарах, на газонах и на детских площадках. Организация парковочных мест позволит исключить стихийность парковок и организовать внутривдоровое автомобильное движение;



**Рис. 1.** Натурные фотографии жилых дворов (нерациональное использование территорий)

**Fig. 1.** Field photos of residential yards (Irrational use of territories)



**Рис. 2.** Натурные фотографии жилых дворов (нерациональное использование территорий)

**Fig. 2.** Field photos of residential yards (Irrational use of territories)

2. Неудовлетворительное состояние транспортно-пешеходной сети, отсутствие дорожек, и как следствие: появления уймы тропинок;

3. Высокая степень «захламленности» территории (высокие заросли кустарников, старые высохшие деревья, неорганизованные пункты сбора мусора и т.д.) - рис. 3, 4;

4. Недостаточное количество и качество озеленения;

5. Полное или частичное отсутствие источников освещения;

6. Высокая степень износа оборудования детских площадок или их отсутствие. Для многих двор стал транзитом между местом работы и собственной квартирой. Оборудование детских и спортивных площадок из-за своего возраста утратили свою привлекательность и функциональность. Сегодня двор уже не отвечает актуальным требованиям жизнедеятельности и быта;

7. Еще один важный аспект благоустройства дворовой территории - учёт требований инвалидов;

8. Отсутствие зон для выгула собак;

9. Застройка в неполюженном месте. Так происходит во многих дворах, например, во дворе ул. Дружбы 40, г Феодосия. Здания строили в местах, не предназначавшихся для этого. Магазины и «кафе» построили на месте, где раньше была зона

детского активного отдыха. Если магазины функционируют до сих пор, то трехэтажное «кафе», установленное вблизи пятиэтажки, прекратило свою работу вскоре после начала. На рисунке 5 виден масштаб проблемы. Также видны остатки детских турников и припаркованный в несоответствующем месте автомобиль. Пока фиксировался фотоотчет для статьи, еще один житель двора припарковал свое транспортное средство прямо возле нефункционирующего кафе (рисунок 6). И если быть честными, это здание больше похоже на частный дом, нежели кафе.



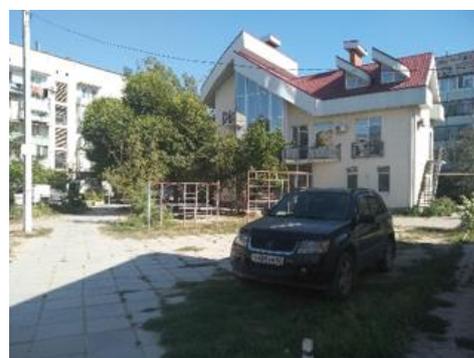
**Рис. 3.** Натурные фотографии жилых дворов (высокая степень «захламленности» территории)

**Fig. 3.** Field photos of residential courtyards (a high degree of "clutter" of the territory)



**Рис. 4.** Натурные фотографии жилых дворов (высокая степень «захламленности» территории)

**Fig. 4.** Field photos of residential courtyards (a high degree of "clutter" of the territory)



**Рис.5.** Застройка в неполюженном месте

**Fig. 5.** Building in the wrong place



**Рис. 6.** Парковка в неполюженном месте  
**Fig. 6.** Parking in the wrong place

Все эти вышеперечисленные проблемы явные, так как сразу бросаются в глаза, и каждый из нас неоднократно сталкивался с ними.

Одной из важнейших проблем является ошибки в расчетах площадей зонирования. Некоторые зоны отсутствуют вовсе. Но ведь место проживания не может считаться комфортным, если окружающая его среда не благоустроена и не содержит необходимые функциональные зоны. Необходимо единое слияние архитектурных, градостроительных и художественных задач. Реконструкция дворовых территорий позволит добиться этого, если по ряду причин этот симбиоз отсутствует.

Проанализировав существующие проблемы, можно сделать выводы, что дворовые территории многоквартирных жилых домов средней этажности остро нуждаются в реконструкции. Для создания функциональной, комфортной и художественно-выразительной пространственной среды необходимо:

1.Избавление дворов от чрезмерной автомобилизации. Чтобы упорядочить хаотически размещенные автомобили, необходимо создание гостевых парковочных мест, называемых «карманами» исходя из расчета, индивидуально для каждого двора. Также необходимо вынести за черту двора автомобили жильцов посредством создания парковок вне дворовых границ, а также создание подземного паркинга.

2.Наличие основного пешеходного пути. Его задача - соединить друг с другом все внутренние и внешние точки притяжения. Каркас пешеходных и транспортных путей дворов полностью (или в значительной степени) определяется существующей планировочной структурой кварталов. Во избежание нового возникновения протоптанных тропинок, иногда совершенно хаотично расположенных в дворовом пространстве, при реконструкции дворовых территорий необходимо учитывать все особенности территории двора;

3.Разработка дендрологического плана территории, учитывающей новые требования и поступательную замену вымирающего и малоценного озеленения новыми растениями с

высокими экологическими и эстетическими характеристиками. Озеленение не только двора среднеэтажных многоквартирных домов, но и любого жилого двора требует определенных знаний в области дендрологии и архитектурной климатологии. Организация озеленения внутреннего пространства позволяет разделить функциональные зоны для активного и тихого отдыха, качественно улучшить микроклимат территории.

4.Очень часто система полива во дворах отсутствует, что затрудняет уход за растениями. Необходимо устройство системы автоматического полива, и для комфортного отдыха и улучшения микроклимата желательно устройство фонтанов как декоративных, так и питьевых;

5.Зонирование:

5.1.Размещение хозяйственных площадок в пределах 100 м от входов в жилые дома, но на удалении от окон жилых и общественных зданий, зон шумного и тихого отдыха;

5.2.Размещение зон шумного отдыха в более публичных пространствах вдоль основных пешеходных путей. Либо же в более частных, внутри периметральных жилых групп, в центральной части таких пространств - то есть на удалении от окон, хозяйственных зон и зон парковки;

5.3.Равномерное распределение зон тихого отдыха по двору ближе к входам в жилые дома;

6.Создание креативных детских и спортивных площадок с травмобезопасным покрытием и современным оборудованием. Игровые площадки не всегда выглядят как однотипные пластиковые или деревянные горки и качели. Например, в мире много реализованных нетипичных идей дизайнерских и архитектурных проектов детских площадок. Они настолько нестандартные, что одна похожа на сетчатый миниатюрный небоскреб шириной всего несколько метров, вторая выглядит как настоящая железнодорожная станция с поездами, бюро по продаже билетов и диспетчерской будкой, третья в форме гигантского муравья, четвертая объединяет себе игровую и спортивную зону под открытым небом не только для детей, но и для взрослых [2].

7.Устройство системы основного наружного и ландшафтного освещения;

8.Важный аспект благоустройства дворовой территории - учёт требований инвалидов. Неотъемлемыми элементами двора являются пандусы. Помимо этого, детские площадки могут оборудоваться элементами для детей с ограниченными возможностями;

9.Создание площадок для выгула собак. Площадки для выгула собак необходимо размещать на расстоянии не менее 40м от окон жилых и общественных зданий.

Проблемы дворовых пространств распространены, встречаются повсеместно и требуют неотложного решения [3].

Зачастую, реконструкции дворовых территорий осуществлялись без комплексного подхода, такие виды работ как: оснащение малыми архитектурными формами, содержание зеленых насаждений, организация дворовых площадок для отдыха жителей всех возрастных групп, практически не выполнялись, поэтому дворовые

территории многоквартирных домов не могли удовлетворять потребностям жителей различных возрастных групп [4].

Это обусловлено совокупностью организационных, финансовых, функциональных и социальных проблем, представленных в таблице 1.

**Таблица 1.** Проблемы реконструкции дворовых территорий  
**Table 1.** Problems of reconstruction of courtyard areas

№ п/п	Наименование проблемы	Суть проблемы
1	Организационные	отсутствие комплексного подхода к решению проблемы обеспечения комфортных условий проживания и отдыха жителей многоквартирных домов
2	Финансовые	недостаточное финансирование мероприятий по благоустройству придомовых территорий
3	Функциональные	несоблюдение градостроительных норм при городской застройке
4	Социальные	низкий уровень заинтересованности и вовлечения населения в решения проблемы повышения качества благоустроенности дворовых территорий

В 2017 году в нашей стране заработал федеральный проект «Формирование комфортной городской среды», главная идея которого заключается в том, чтобы сделать российские города красивыми и удобными - начиная с благоустройства и заканчивая улицами, скверами и парками. Его реализация запланирована до 2022 года. Проектирование и реализация проектов ведется при тесном сотрудничестве архитекторов и жильцов, что позволяет создавать уникальные проекты и выполнять задачи по созданию благоприятных условий организации дворового пространства. По данной программе в Крыму уже есть реализованные проекты [5].

Если рассматривать мировой опыт, основные принципы благоустройства дворовых пространств в Европе. это: во-первых, участок должен быть максимально использован; во-вторых, машин не должно быть во дворе, лучше всё свободное пространство двора будет состоять из газонов; в-третьих, всегда разумнее сэкономить на фасаде дома, но сделать двор из качественных материалов; в-четвёртых, должно быть интересным и уникальным [6].

## ВЫВОДЫ

В работе проведен анализ, используя принципы организации городской среды дворовых пространств, выявлены их основные недостатки. Современные дворовые пространства не удовлетворяют потребности людей и требуют архитектурно-художественные решения. В первую очередь, необходимо стремиться к тому, чтобы территория двора отвечала интересам как можно большего количества различных групп.

Рассмотренные приемы и методы благоустройства позволили выявить следующие тенденции, для их включения в проектные предложения по реконструкции дворовых пространств:

- вынесение парковок для границы жилых зон;
- устройство подземных паркингов;
- широкое использование ландшафтного дизайна;
- разделение площадок на дворовые и квартальные с закрытием доступа в дворовые пространства;
- введение нежилых функций в состав квартала для совместного использования парковок.

Городские власти и сами жители должны принимать совместные осмысленные решения, направленные на комплексное улучшение экологического состояния и благоустройства территории. Комплексные мероприятия по созданию комфортной среды способствуют достижению не только внешнего облика города, но и санитарно-гигиенических и микроклиматических условий дворовых пространств.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волкова Т.Ф. Реабилитация городской жилой среды. Социально-градостроительный аспект: учеб. пособие. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 116 с.
2. Самые необычные игровые площадки мира. URL: <https://archidom.ru/journal/fishki/the-most-unusual-playgrounds/> (дата обращения: 27.05.2021).
3. Спиридонова Е.А. Региональные особенности формирования дворового пространства//Всероссийская научно-практическая конференция «Сибирская архитектурно-художественная школа». Новосибирск: НГАХА, 2001, с. 70-72.
4. Погудина А. Л. Формирование комфортной городской среды // Научный альманах, 2016, №5-3, с. 146-149. URL: [ucom.ru/doc/na.2016.05.03.146.pdf](http://ucom.ru/doc/na.2016.05.03.146.pdf).
5. Формирование комфортной городской среды [Электронный ресурс] – Режим доступа-URL: <http://belgkh.ru/programmy/formirovanie-komfortnoj-gorodskoj-sredy/>

6. Сидорова В.В. Комплексный подход к реконструкции дворовых пространств многоэтажной жилой застройки 1970–90 годов XX века / В.В. Сидорова, О.Л. Чубова // *Architecture and Modern Information Technologies*. – 2017. – №3(40). – С. 200-214 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://marhi.ru/AMIT/2017/3kvart17/15\\_sidorova-chubova/index.php](http://marhi.ru/AMIT/2017/3kvart17/15_sidorova-chubova/index.php)

## REFERENCES

1. Volkova T.F. Rehabilitation of the urban living environment. Social and urban planning aspect: textbook. allowance. – Penza: PGUAS, 2014. –116 p.

2. The most unusual playgrounds in the world. URL: <https://archidom.ru/journal/fishki/the-most-unusual-playgrounds/> (date accessed: 05/27/2021).

3. Spiridonova E.A. Regional features of the formation of the courtyard space // All-Russian

scientific and practical conference "Siberian architectural and art school". Novosibirsk: NGAKHA, 2001, p. 70-72.

4. Pogudina A. L. Formation of a comfortable urban environment // *Scientific Almanac*, 2016, No. 5-3, p. 146-149. URL: [ucom.ru/doc/na.2016.05.03.146.pdf](http://ucom.ru/doc/na.2016.05.03.146.pdf).

5. Formation of a comfortable urban environment [Electronic resource] - Access mode-URL: <http://belgkh.ru/programmy/formirovanie-komfortnoj-gorodskoj-sredy/>

6. Sidorova V., Chubova O.A Comprehensive Approach to the Reconstruction of Open Areas within the Curtilages of Multi-Storey Residential Buildings Built in 1970-1990-th. *Architecture and Modern Information Technologies*, 2017, no. 3(40), pp. 200-214. Available at: [http://marhi.ru/eng/AMIT/2017/3kvart17/15\\_sidorova-chubova/index.php](http://marhi.ru/eng/AMIT/2017/3kvart17/15_sidorova-chubova/index.php)

## CURRENT PROBLEMS OF YARD TERRITORIES OF MEDIUM-STOREY APARTMENT RESIDENTIAL BUILDINGS. RECONSTRUCTION AS A NEW LIFE OF OLD YARD

Mosyakin D. S. <sup>1</sup>, Vitek O. I. <sup>2</sup>

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Academy of Construction and Architecture,  
295493, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya street, 181  
E-mail: [mosyakin\\_dmitriy@mail.ru](mailto:mosyakin_dmitriy@mail.ru)<sup>1</sup>, [oksanavitek@gmail.com](mailto:oksanavitek@gmail.com)<sup>2</sup>

**Abstract.** This article examines the current problems of courtyard areas of mid-rise multi-apartment residential buildings, the reconstruction of courtyard spaces. For the article, a detailed analysis of the existing practice in this direction was carried out, the requests and needs of the population were analyzed, and the general problems of courtyard spaces and their functional planning organization were identified. Reconstruction of courtyards is an important topical issue. Renovation is a way to solve the problems that residents of yard spaces have to face every day that do not meet their needs. The main focus of the article is on these issues. By the example of a thorough analysis of the courtyard, the need to reconstruct courtyards and thereby create a new life for them is convincingly proved. Subject of research: courtyard areas of medium-rise apartment buildings in need of reconstruction

**Materials and methods:** the solution of the set research tasks was carried out using the analysis of scientific, literary and regulatory sources, Internet search and analysis of existing yards in need of reconstruction

**Results:** identification, clarification, deepening, methodological substantiation of the essence, nature, structure of reconstruction of courtyard spaces; analysis of the real state of the functional planning organization of the public space of residential courtyards in the conditions of reconstruction, analysis of the state of dynamics, internal contradictions of development; identifying ways and means to improve the efficiency of improving the courtyard spaces of mid-rise apartment buildings

**Conclusions:** the result of the author's research was the development of relevant and expedient recommendations for the reconstruction of courtyard spaces of multi-apartment residential buildings of medium storey

**Key words:** Reconstruction, courtyard areas, landscaping, mid-rise buildings



## СОВРЕМЕННЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ГОРОДСКИХ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОПЛАСТИКИ

Живица В.В.<sup>1</sup>, Поливанова М.Е.<sup>2</sup>

Академия строительства и архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»  
295493, Республика Крым, г. Симферополь, улица Киевская, 181  
E-mail: hhan73@bk.ru<sup>2</sup>

**Аннотация.** В статье проведен анализ тенденций создания российских и зарубежных городских общественных пространств, сформированных с использованием геопластики. Выделены основные принципы создания общественных пространств с использованием рельефа. Основное внимание уделяется геопластике, как возможности изменять и дополнять существующий рельеф, а также создавать новый. В ходе исследования был рассмотрен ряд наиболее успешных реализованных проектов модернизации общественных пространств, каждый из которых по-своему открывает идею использования рельефа. Авторы рассматривают и анализируют геопластику как один из наиболее перспективных способов создания общественных пространств, как возможность функционально разнообразить пространство и создать различные по своим характеристикам и наполнению территории.

**Предмет исследования:** городские общественные пространства, сформированные с помощью работы с рельефом, геопластики.

**Материалы и методы:** исследование построено на комплексном анализе с использованием количественных методов исследования (статистические и библиометрические).

**Результаты:** В ходе исследования был осуществлен анализ проектов общественных пространств, созданных с помощью использования геопластики. Эксклюзивность и исключительность каждого подобного проекта позволяют по-новому смотреть на окружающее нас городское пространство и его роль в современном мире. Основными принципами при проектировании современных пространств с помощью геопластики является отсутствие типовых решений. Геопластика позволяет не только решать проблемы вертикальной планировки, но и позволяет создать абсолютно новое городское общественное пространство. Геопластику используют для создания рельефа местности, а также для обеспечения необходимых климатических условий для тех или иных видов растений. В настоящее время не только здания, сооружения и малые архитектурные формы создают среду, но и искусственный рельеф. В больших масштабах геопластика способна выполнять роль доминанты, в малых – формировать среду масштабную человеку. В ходе исследования авторами были выделены принципы работы с рельефом в общественных пространствах: преобразование существующего рельефа выполняется посредством устройства холмов, склонов, террас, лестниц и подпорных стенок; геопластика дает возможность создания нового рельефа местности, а также позволяет достичь уникальности в каждом проекте; работа с рельефом и его преобразование позволяет создавать необходимые климатические условия.

**Выводы:** Результаты исследования могут быть интересны специалистам, занимающимся вопросами благоустройства общественных городских пространств, преподавателям и обучающимся по направлениям подготовки: «Дизайн архитектурной среды», «Градостроительство», а также всем интересующимся темой формирования комфортной, многофункциональной, интересной и безопасной городской среды.

**Ключевые слова:** геопластика, вертикальная планировка, городское общественное пространство, городская территория, благоустройство территории, организация ландшафта, садово-парковые объекты.

## ВВЕДЕНИЕ

При проектировании городской среды важно учитывать историческое значение той или иной местности, особенности рельефа, сформировавшийся архитектурно-художественный стиль, функциональное назначение пространства, виды озеленения и малых архитектурных форм, масштабность среды и прочие особенности [9]. Задача современных архитекторов и градостроителей заключается в формировании интересных, многофункциональных, биопозитивных, «живых», масштабных человеку городских общественных пространств [8, 15].

Городское общественное пространство – это городская территория, которая может использоваться жителями для рекреации, досуга и общения.

По функциональному назначению, Хасиева С.А. выделяет четыре вида городских пространств:

ориентирующие, поведенческие, промежуточные, предваряющие; а по конфигурации – локальные и линейные общественные пространства [13]. Все виды общественных пространств играют важную роль в процессе формирования и развития личности человека: его мировоззрения, чувства стиля, отношения к социуму и своему месту в нём. Поэтому проектируя городские открытые пространства, необходимо учитывать множество факторов и архитектурно-пространственных характеристик. Фонари, скамейки, зеленые насаждения, рельеф местности и архитектурные особенности среды – все это влияет на впечатление человека о среде и должно соответствовать человеческому масштабу.

Авторы исследуют природную, ландшафтную компоненту городских общественных пространств, как один из наиболее действенных способов формирования функционально разнообразного пространства и территорий различных по своим характеристикам и наполнению.

Естественный рельеф в городе используется для создания градостроительной композиции, выделения и акцентирования архитектурных доминант (например, церковь или храм возводили на возвышенности, чтобы подчеркнуть значимость сооружения). Грамотная работа с рельефом, может создать выразительный, запоминающийся образ города. Однако, в масштабе человека, рельеф часто воспринимается как препятствие для пешеходного и транспортного движения. Перепады уровней рельефа нивелируются при помощи подпорных стен, лестниц, пандусов, террасирования, откосов и прочих ландшафтно-архитектурных и конструктивных решений [10].

При проектировании общественных пространств используют существующий рельеф, подчеркивая его наиболее интересные в высотном отношении особенности или создают искусственные ландшафтные формы при помощи геопластики – особого вида ландшафтной архитектуры, использующийся для создания или изменения рельефа.

Цель исследования: изучить современные принципы создания общественных пространств с использованием приёмов геопластики.

Задачи:

- проанализировать теоретические научные и литературные труды по теме исследования;
- изучить мировой опыт создания общественных пространств, в том числе, с использованием преобразования рельефа;
- сформулировать основные принципы создания общественных пространств с использованием приёмов геопластики.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Большое влияние на формирование понятия геопластики внесли Вергунов А.П., Денисов М.Ф., Ожегов С.С., изучившие проблему нарушенных форм рельефа, и сформулировавшим принципы применения механизмов для искусственного моделирования рельефа – геопластики [14]. Они же вывели принцип включения микрорельефа в градостроительную композицию путем усиления колебания высотных отметок, а также приемы восстановления нарушенных ландшафтов при проектировании парков.

Исследованиям о закономерностях и принципах формообразований общественных пространств, в том числе с использованием геопластики, посвящены работы Яна Гейла [8], Джейна Джекобса [9], В.А. Бутягина [10], Н.Я. Колли, В.А. Артамонова, Е.А. Тарасова, И.А. Толстой [11].

Двигательная активность положительно влияет на развитие способность мозга обрабатывать информацию и целостно воспринимать окружающий мир [8]. Поэтому так важно создавать при формировании городской среды необходимые условия для возможности коммуникации и активных передвижений по общественным

пространствам. На данный момент в России уже начинают появляться общественные пространства, способные стать местом притяжения людей, способствующие физическому, психологическому и эмоциональному развитию.

На данный момент архитекторы и градостроители всего мира рассматривают геопластику как средство формирования интересных, развивающих, биопозитивных общественных пространств нового поколения.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Авторами были проанализированы литературные источники, а также интернет-ресурсы российского и зарубежного опыта использования геопластики для формирования общественных пространств; натурные обследования; фотофиксация. Были использованы следующие методы исследования: эмпирические (наблюдение, описание, сравнение) и методы экспериментально-теоретического уровня (индукция и дедукция). Материалами исследований послужили научные и технические разработки, научные труды и публикации в области реконструкции и благоустройства общественных пространств, городской ландшафтной среды, садово-парковых объектов.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Авторами была проанализирована информация, размещенная на российских и зарубежных официальных городских сайтах и сайтах архитектурных и ландшафтных фирм, специализирующихся на создании общественных пространств и на работе с рельефом. Первый проект: комплекс торгового центра Longfor Origin by LISM Landscape Design (рис. 1-2) располагается на юго-востоке Китая в городе Гуйян и занимает площадь 60 000 м<sup>2</sup>. Объект расположен на равнинном рельефе, где основной доминантой является само здание, а человеческий масштаб выражен с помощью геопластики [1].

В данном проекте геопластика очерчивает границы бетонной части и задает направление движения по территории до здания. Искусственные возвышения обеспечивают четкое разделение зелёных насаждений и твердого покрытия. Ландшафтное решение включает две части – чашеобразная форма фонтана и зеленая вершина ассоциируются с парящими горами и водопадами. При этом четко прослеживается понимание человеческого масштаба: задавая путь движения, высота малых архитектурных форм развивается по прогрессии, а извилистый путь позволяет зрительно увеличить пространство и добавляет визуальные акценты [1]. В этом проекте четко прослеживается принцип включения микрорельефа в композицию, путем усиления колебания высотных отметок. [14]



**Рис. 1-2.** Вид сверху территории торгового центра LongforOrigin в г. Гуйян, Китай (слева); вид с человеческого роста LongforOrigin г. Гуйян, Китай (справа).

**Fig.1-2.** Top view of the Longfor Origin (left); human-height view of Longfor Origin in Guiyang, China (right).

Второй пример общественного пространства, при создании которого активно использовали приёмы геопластики – Парка Галицкого (рис. 3-4), спроектированный известной немецкой архитектурной компанией “ГМП Интернейшнл”. Садово-парковый объект общегородского значения находится возле стадиона футбольной команды “Краснодар” и занимает площадь в 23 га. [2].

Парк является ярким примером успешного использования геопластики для создания множества разноуровневых пространств. Территория представляет собой прекрасный пример решения задач по созданию комфортного пространства с возможностью активного и тихого отдыха. Благодаря тому, что в проекте использовалась работа с преобразованием рельефа, парк насыщен множеством различных решений для отдыха и движения. Пространство само направляет посетителя вперед, а разные уровни позволяют оценивать пространство не только с уровня человеческого масштаба, но и увидеть общую композицию со смотровых площадок. Разнообразие плавных форм помогает постепенно передвигаться

от одной функциональной зоны к другой, а разнообразие в их оформлении не дает скучать и заставляет человека двигаться вперед, привлекает его интерес неизведанностью за каждым поворотом. Особенно удачным является использование архитектурной подсветки деревьев, водоемов и путей следования по парку, а также отдельных функциональных зон. В холодное время архитектурная подсветка, а также возможность замены цветущих растений на искусственные в зимний период позволяют использовать парк круглогодично в любое время суток, что положительно сказывается на его посещаемости.

Одной из знаковых площадок парка является смотровая площадка в виде спирали. С данного открытого пространства открывается вид на весь парк. Решение смотровой площадки путем использования ступенчатого характера композиции позволяет зрителю плавно перейти от широких открытых перспектив на верхних ярусах, к ограниченному виду на нижних ярусах. Спуски площадки решены серпантинным подъемом, с использованием подпорных стен [14].



**Рис. 3-4.** Схема парка «Галицкого» в г. Краснодар (слева); перспективный вид парка «Галицкого» в г. Краснодар с высоты птичьего полёта (справа)

**Fig. 3-4.** Map of the park "Galitsky" in Krasnodar (left); view of the park "Galitsky" in Krasnodar from a bird's eye view (right)

Следующий пример использования геопластики в формировании общественных пространств – игровой парк Blaxland Riverside Park (рис. 5-6) расположенный на берегу живописной реки Парраматта в Сиднее [3]. Архитекторы JMD Design разработали игровой парк нового поколения. В искусственном холмистом ландшафте разместили на склонах туннели и горки, некоторые из которых проходят склон насквозь, а другие лишь

подчеркивают угол наклона. Для спокойных игр обустроили песчаный карьер, а также игровые диски с водяными струями. Все ландшафтные решения направлены на создания единого стилизового решения парка с различным функциональным наполнением. Использование существующего и преобразованного рельефа позволяет разнообразить городскую среду, сделать ее многофункциональной и "живой".



**Рис. 5-6.** Вид на территорию Blaxland Riverside Park  
**Fig. 5-6.** View of Blaxland Riverside Park

«Парк космических размышлений» (рис. 7-10) создан в конце 20 века в Шотландии на территории поместья Потрак, в городе Дамфрис архитектором-постмодернистом Чарльзом Дженксом и ландшафтным дизайнером Мэгги Чесвик. Его площадь составляет 16,2 га [4].

Территория поместья организована с помощью искусственных разноуровневых террас и уклонов. Холмы, имеют плавные спиралевидные подъемы имитирующие естественный рельеф. Это даёт возможность обзора территории с различной высоты, а также обеспечивает доступность парка для всех групп населения.

В центре композиции содово-паркового объекта находится окружённое холмами искусственное озеро. В парке выделены несколько функциональных зон: «Сад физики», искусственный газон для спортивных площадок и

«Алюминиевый цветник». Каждая из зон выполнена в единой стилистике, но имеет абсолютно уникальные по тематике малые архитектурные формы и инсталляции, символизирующие вселенную или её явления.

С помощью плавных линий рельефа архитектор направляет посетителей сквозь пространство поместья. Стадийность развития территории прослеживается по всему парку. Проект насыщен различными тематическими рекреационными зонами как для активного отдыха, так и зонами для размышлений.

Парк космических размышлений постоянно видоизменяется: он открыт для посетителей один день в году, а всё остальное время в поместье живут владельцы.



**Рис. 7.** Схема парка космических размышлений  
**Fig. 7.** Map of the Garden of Cosmic Speculation



**Рис. 8-10.** Перспективные виды парка космических размышлений  
**Fig. 8-10.** Perspective views of the Garden of cosmic speculation

Объект «Нортумберландия» (рис. 11), располагается в английском графстве Нортумберленд и создана как совместный проект компании Banks и владельцев фамильного поместья Blagdon. Участок занимает выгодное местоположение и просматривается со стороны автомагистрали и железной дороги. Рельеф места расположения Нортумберландии спокойный, пологий. Поэтому её создатели использовали геопластику для создания композиционной, смысловой доминанты.

Нортумберландия является ландшафтным изображением лежащей на спине женской фигуры. Реализация проекта позволила архитекторам решить несколько задач: привлечь внимание к расположенным вблизи с Нортумберландией угольным шахтам, а также создать уникальное ландшафтное изображение, не имеющее аналогов в мире. Протяжённость композиции составляет 400 м, но благодаря тому, что фигура разделена на террасы, весь объём соподчинён человеческому масштабу. Несмотря на расположенные имеющиеся видовые площадки, полностью рассмотреть композицию можно только с высоты птичьего полёта [5]. Однако решение смотровых площадок путем использования ступенчатого характера композиции позволяет зрителю плавно перейти от широких открытых перспектив на верхних ярусах, к ограниченным видам на нижних ярусах, а значит

позволяет оценить композицию с разных точек визуального восприятия [14].

Ландшафтный проект «Qui Croire?» (с фр. – «Кому верить?») (рис. 12) размещен на площади перед мэрией. Свободное пространство вокруг объекта позволяет рассмотреть его с разных точек площади. Создал ландшафтную иллюзию бельгийский художник Франсуа Абелане. Инсталляция создана с помощью геопластики и представляет собой иллюзию, которая с определенной точки выглядит как земной шар, или зеленый глобус с меридианами и параллелями. Использование геопластики для создания иллюзий искажения пространства является одним из нестандартных подходов по её использованию. Протяжённость территории, занятой ландшафтным проектом-инсталляцией «Qui Croire?» составляет сто метров [6].

Проект Австралийский сад (рис. 16) демонстрирует новый концептуальный подход к открытому пространству и возможности решения множества различных задач с помощью геопластики. Проект «Австралийский сад» был заказан студии T.C.L. мельбурнским Королевским ботаническим садом и исполнен архитекторами Тейлором Каллито Летлин и Полом Томпсоном. Сад расположен на территории бывших карьеров в Крэнбуэне около Мельбурна.



**Рис. 11.** Нортумберландия с высоты птичьего полёта  
**Fig. 11.** View of the Nortumberland from a bird's eye view (right)



**Рис. 12-15.** Процесс создания ландшафтной композиции  
**Fig. 12-15.** The process of creating a landscape composition

Основной идеей проекта является визуализация в уменьшенном масштабе культурно-географических особенностей Австралии. На 38 гектарах парка продемонстрированы различные типы рельефа, растительности и климата Южного материка.

Создание и использование холмистого рельефа решает несколько задач. Расположенные в разных уровнях растения позволяют оценить их сразу с нескольких ракурсов, а также создать для зелёных насаждений необходимые климатические условия. Отсутствие классических партеров, паттернов и стандартных элементов позволяет более четко ощутить единение с природой. Этому также способствует отсутствие стандартных, геометрически правильных в плане связей между участками. Сад разбит на тематические группы, где каждая имеет свои отличительные особенности. Дорожки запроектированы таким образом, что

посетитель не спешит пройти насквозь всего парка, а следует вдоль всех видов пространств. Чередование и совмещение более коротких и более длинных транзитных путей позволяют разнообразить дороги следования, дают возможность ближе рассматривать композиции и инсталляции, а также позволяют людям с различными физическими возможностями наслаждаться прогулкой.

Центр всего сада – красное плато, имитирующее пустыню. По его диаметру располагаются ландшафтные мизансцены с тектоническими складками «горных пород», а также с водопадами и отмелями, с различными тропическими насаждениями, которые помогают зрителю наиболее полно ознакомиться с флорой различных по удаленности от цивилизации областей материка [7].



**Рис. 16.** Проект Австралийский сад. Австралия. Вид с птичьего полёта.  
**Fig. 16.** The Australian Garden. Australia. Bird's-eye view.

Таким образом с помощью геопластики, при создании новых или реконструкции существующих общественных пространств, решается ряд градостроительных, ландшафтных, архитектурных, композиционных вопросов.

В завершении проведённого исследования, были выделены следующие принципы работы с рельефом

для создания и реконструкции общественных пространств:

- Принцип создания масштабной человеку окружающей среды;
- Принцип гармоничной согласованности существующей городской застройки и ландшафта, сформированного с помощью геопластики;

- Принцип создания интересных архитектурных и ландшафтных композиций;
- Принцип создания нового рельефа местности или преобразования существующего рельефа посредством устройства холмов, склонов, террас, подпорных стенок, искусственных водоёмов;
- Принцип использования приёмов вертикальной планировки: устройство террас и откосов, применение габионов, использование лестниц и пандусов для вертикальных связей;
- Принцип создания с помощью геопластики общественных пространств различного назначения (прогулочная зона в садово-парковых объектах, детские игровые площадки, площади перед общественными зданиями, арт-объекты и пр.);
- Принцип создания с помощью геопластики открытых пространств, обладающих различными характеристиками (замкнутые, полуоткрытые, открытые, водные пространства и т.п.);
- Принцип функционального зонирование территории, деление на смысловые, композиционные зоны;
- Принцип создания разнообразия в ландшафте, добавление различных ракурсов и видовых раскрытий, для закрытия нежелательной перспективы, организации визуальной рамки, формирования скульптурного рельефа;
- Принцип усиления выразительности ландшафта при плоском рельефе;
- Принцип создания смотровых площадок;
- Принцип создания необходимых микроклиматических условий;
- Принцип создания необходимых условий для зелёных насаждений.

## ВЫВОДЫ

1. Проанализированы теоретические научные и литературные труды по теме исследования. На данный момент специалисты в сфере градостроительства и архитектуры рассматривают геопластику как средство формирования общественных пространств нового поколения. Ее также рассматривают как одно из самых перспективных направлений в ландшафтной архитектуре.
2. Изучен мировой опыт создания общественных пространств, в том числе, с использованием преобразования рельефа: longfor Origin, Парк Галицкого, Игровой парк в Сиднее, Парк космических размышлений, «QuiCroire?», а также ландшафтные проекты Нортумберландия и Australian Garden. Рассмотренные объекты свидетельствуют об огромном разнообразии геопластических приёмов для создания уникальной и неповторимой городской среды. Геопластика позволяет не только решать проблемы вертикальной планировки, но и позволяет создать абсолютно новое городское общественное пространство.
3. Сформулированы основные принципы создания общественных пространств с использованием приёмов геопластики.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. LONGFOR·ORIGIN By LISM Landscape Design [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://moool.com/en/longfor-origin-by-lism-landscape-design.html> (дата обращения: 08.06.21).
2. Парк Галицкого [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.tourister.ru/world/europe/russia/city/krasnodar/parks/31068> (дата обращения: 08.06.21).
3. Игровой парк в Сиднее [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.admagazine.ru/architecture/igrovoj-park-v-sidnee> (дата обращения: 08.06.21).
4. Парк космических размышлений [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sad.ukr.bio/ru/articles/6735/> (дата обращения: 08.06.21).
5. Нортумберландия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gardener.ru/library/article/page4399.php> (дата обращения: 08.06.21).
6. "QuiCroire?" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://obiskusstve.com/162169137604594329/instally-atsiya-illyuziya-komu-verit-ot-fransua-abelane/> (дата обращения: 08.06.21).
7. Ландшафтный проект AUSTRALIAN GARDEN [Электронный ресурс]. Режим доступа к статье: <https://sad.ukr.bio/ru/articles/7501/> (дата обращения: 08.06.21).
8. Ян Гейл. Города Для Людей. Перевод с английского: Токтонов А. – М.: Крост, 2012. – С. 55-63.
9. Джейн Джекобс. Смерть и жизнь больших американских городов [Текст]. / Дж. Джекобс. – М.: Новое издательство, 2019. – С.25-26.
10. В.А. Бутягин Планировка и благоустройство городов. – М.: Стройиздат, 1974. – 327 с.
11. Кристофер А. Язык шаблонов. Города. Здания. / А. Кристофер, С. Мюррей, И. Сара. – М.: Издательство Студии Артемия Лебедева, 2014. – 192 с.
12. Колли Н.Я. Малые архитектурные формы в застройке и благоустройстве городов. / Н.Я. Колли, В.А. Артамонов Е.А. Тарасова И.А. Толстой. – М.: Издательство литературы по строительству, 1964. – 44 с.
13. Хасиева С.А. Архитектура городской среды. – М.: Сройиздат, 2001. – 200 с.
14. Вергунов А.П. Ландшафтное проектирование. / А.П. Вергунов, М.Ф. Денисов, С.С. Ожегов. – М.: Архитектура-С., 1991. – С. 149-163.
15. Сидорова В.В., Сорокина Н.А. Биопозитивные технологии, как основа развития устойчивой городской среды // Строительство и техногенная безопасность. – 2018. Вып. 10 (62). – С. 27-40.

## REFERENCES

1. LONGFOR ORIGIN by LISM Landscape Design [Electronic resource]. Access mode: <https://moool.com/en/longfor-origin-by-lism-landscape-design.html> (date of access: 06/08/21).
2. Park Galitsky [Electronic resource]. Access mode: <https://www.tourister.ru/world/europe/russia/city/krasnodar/parks/31068> (date accessed: 06/08/21).
3. Game Park in Sydney [Electronic resource]. Access mode: <https://www.admagazine.ru/architecture/igrovoj-park-v-sidnee> (date of access: 06/08/21).
4. Park of Cosmic Reflections [Electronic resource]. Access mode: <https://sad.ukr.bio/ru/articles/6735/> (date of access: 06/08/21).
5. Northumberlandia [Electronic resource]. Access mode: <https://www.gardener.ru/library/article/page4399.php> (date of access: 06/08/21).
6. "QuiCroire?" [Electronic resource]. Access mode: <https://obiskusstve.com/162169137604594329/instally-atsiya-illyuziya-komu-verit-ot-fransua-abelane/> (date of access: 08.06.21).
7. Landscape project AUSTRALIAN GARDEN [Electronic resource]. Access to the article: <https://sad.ukr.bio/ru/articles/7501/> (date of access: 06/08/21).
8. Ian Gale. Cities for People. Translated from English: Toktonov A. – M.: Krost, 2012. - S. 55-63.
9. Jane Jacobs. Death and life of large American cities [Text]. / J. Jacobs. – M.: New publishing house, 2019. – Pp.25-26.
10. V.A. Butyagin City planning and improvement. – M.: Stroyizdat, 1974. – 327 p.
11. Christopher A. The language of templates. Cities. Building. / A. Christopher, S. Murray, I. Sarah. – M.: Publishing house of Art. Lebedev Studio, 2014. – 192 p.
12. Collie N. Ya. Small architectural forms in the development and improvement of cities. / N. Ya. Collie, V.A., Artamonov E.A. Tarasova I.A. Tolstoy – M.: Publishing house of literature on construction, 1964. – 44 p.
13. Khasieva S.A. Architecture of the urban environment. – M.: Sroyizdat, 2001. – 200 p.
14. Vergunov A.P. Landscape design. / A.P. Vergunov, M.F. Denisov, S.S. Ozhegov. – M.: Architecture-S., 1991. – Pp. 149-163.
15. Sidorova V.V., Sorokina N.A. Biopositive technologies as a basis for the development of a sustainable urban environment // Construction and technogenic safety. – 2018. – Is. 10 (62). – Pp. 27-40.

## MODERN PRINCIPLES OF CREATING URBAN PUBLIC SPACES WITH GEOPLASTICS

Zhivitsa V.V.<sup>1</sup>, Polivanova M.E.<sup>2</sup>

Academy of Construction and Architecture, V.I. Vernadsky Crimean Federal University  
E-mail: hhan73@bk.ru<sup>2</sup>

**Abstract.** The article analyzes the trends in the creation of Russian and international urban public spaces formed using geoplastics. The main principles of creating public spaces using relief are highlighted. The main focus is on geoplastics, as the ability to change and supplement the existing relief, as well as create a new one. In the course of the study, a number of the most successful implemented projects for the modernization of public spaces were considered., each of which in its own way opens up the idea of using the relief. The authors consider and analyze geoplastics as one of the most promising ways of creating public spaces, as an opportunity to functionally diversify the space and create territories that are different in their characteristics and content.

**Subject:** urban public spaces formed by working with relief, geoplastics.

Materials and methods: the study is based on a comprehensive analysis using quantitative research methods (statistical and bibliometric).

**Results:** In the course of the study, an analysis of projects of public spaces created using geo-plastic was carried out. The exclusivity and uniqueness of each such project allows us to look in a new way at the space around us and its role in the modern world. The basic principles in the design of modern spaces using geoplastics is the absence of standard solutions. Geoplastics allows not only to solve problems of vertical planning, but also allows you to create a completely new urban public space. Geoplastics is used to create terrain, as well as to provide the necessary climatic conditions for certain types of plants. Currently, not only buildings, structures and small architectural forms create the environment, but also the relief. On a large scale, geoplastics is capable of playing the role of a dominant; on a small scale, it can form a large-scale environment for a person. Based on the analysis of world experience, the authors identified the following principles of working with relief in public spaces: the transformation of the existing relief is carried out by means of the construction of hills, slopes, terraces, stairs and retaining walls; geoplastics makes it possible to create a new terrain, and also allows to achieve uniqueness in each project; solving landscape problems to create the necessary climatic conditions.

**Conclusions:** The results of the study may be interest to professionals involved in the improvement of public urban spaces, teachers and students in the field of training: "Design of architectural environment", "Urban Planning", as well as anyone interested in the topic of forming a comfortable, multifunctional, interesting and safe urban environment.

**Key words:** geoplastics, vertical planning, urban public space, urban area, landscaping, landscape organization, garden and park facilities.



## **Раздел 2. Строительство**

УДК 693.56

### **ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ МЕХАНИЗАЦИИ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ КАРКАСА 30-ТИ ЭТАЖНОГО МОНОЛИТНОГО ЖИЛОГО ДОМА**

Головченко И.В.

Академия строительства и архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»  
295493, Республика Крым, г. Симферополь, улица Киевская, 181  
e-mail: golovchenko.igor.v@gmail.com

**Аннотация.** В статье проанализированы основные способы подачи бетонной смеси при возведении каркасов многоэтажных монолитных железобетонных зданий. Подобраны варианты схем подачи бетонной смеси механизации при возведении каркаса 30-ти этажного жилого дома в г. Симферополь. Выполнено сравнение подобранных схем механизации подачи бетонной смеси по трудоемкости и продолжительности производства работ.

**Предмет исследования:** технико-экономические показатели различных способов подачи бетонной смеси при возведении каркаса 30-ти этажного монолитного жилого дома.

**Материалы и методы:** проанализированы литературные источники и результаты предварительных экспериментальных исследований, выполнено технико-экономическое сравнение различных способов подачи бетонных смесей.

**Результаты:** исходя из результатов проведенных расчетов, установлено, что с увеличением этажности здания, подача бетонной смеси башенным краном становится наименее эффективной. При высоте зданий более 16 этажей целесообразно применение стационарного бетононасоса или комбинации стационарного и автобетононасоса.

**Выводы:** наиболее эффективным с точки зрения трудоемкости и продолжительности производства работ является комбинированный способ подачи бетонной смеси с применением автомобильного и стационарного бетононасосов.

**Ключевые слова:** способы подачи бетонной смеси; башенный кран; стационарный бетононасос; автобетононасос; трудоемкость работ; продолжительность работ.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время наиболее распространенными способами подачи бетонной смеси при возведении каркасов монолитных железобетонных зданий являются: схема «кран-бадья»; бетононасосы со стационарными бетоноводами, автобетононасосы. Проведенные исследования показали, что ни один из перечисленных способов подачи бетонной смеси не является абсолютно выгодным на всех стадиях возведения каркаса монолитных железобетонных высотных зданий. Возрастающее количество этажей, высокая стоимость аренды и эксплуатации машин и механизмов приводит к необходимости максимального сокращения времени возведения одного этажа. Опыт возведения комплекса зданий «Москва-Сити» [1] и 86-ти этажного здания «Лахта-центр» в г. Санкт-Петербурге показал, что наиболее рациональным является применение комбинации перечисленных способов подачи бетонной смеси на различные отметки по высоте возводимого здания [2].

Цель исследования – снижение сроков строительства путем сокращения сроков производства железобетонных работ по возведению каркаса 30-ти этажного жилого здания за счет обоснованного выбора схемы механизации подъемно-транспортных операций.

Задача исследования – систематизация факторов, оказывающих влияние на технико-экономические показатели производства работ на

примере возведения каркаса 30-ти этажного здания при возможных вариантах механизации работ и выбор наиболее рационального варианта.

### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

Возведение монолитных многоэтажных зданий складывается из выполнения известных технологических процессов по устройству конструкций здания: фундаментов, колонн, перекрытий, стен и т.д. Однако фактор большой высоты, на которой производятся работы, предопределяет ряд отличий в технологии и организации производства работ, выражающихся в появлении новых или в ином пропорциональном акцентировании средств механизации, видов работ, технологической документации [4]. Если рассматривать варианты с позиции применяемых средств механизации, значительные отличия высотного строительства видны в средствах транспортировки бетонной смеси [5].

Применения башенных кранов при строительстве многоэтажных зданий на данный момент времени ограничено высотой подъема грузов до 80м, а приставных кранов – до 140 м. Однако при подаче этими кранами бетонной смеси в бункерах на такую высоту время цикла подачи увеличивается на столько, что их применение становится нецелесообразным. Интенсивное производство бетонных работ при возведении современных высотных зданий практически невозможно, но без применения мощных и

функциональных бетононасосных установок – на пневмоколесном ходу (автобетононасосов) и стационарных бетононасосов. Однако время на смену стоянки автобетононасоса или перестановку звеньев бетоновода стационарного бетононасоса достаточно велико, что приводит к тому, что на небольших высотах (1-5 этажах) подача бетонной смеси башенным краном является наиболее оптимальной из-за небольшого времени цикла. Все это доказывает целесообразность применения различных организационно-технологических решений при производстве работ на различных отметках по высоте возводимого здания.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Объект исследования** – 30-ти этажное жилое здание из монолитного железобетона, расположенное в г. Симферополь. Размер возводимого здания в плане составляет 50х24м. Отметка верха перекрытия над техническим этажом составляет 95,7м, отметка уровня земной поверхности минус 0,9м, высота этажа – 3м. Возводимое здание имеет следующие конструктивные решения: несущие вертикальные конструкции – колонны и диафрагмы выполнены из монолитного железобетона. Сечение колонн 400х400мм, сечение диафрагм 400х2500мм. Перекрытия – монолитные железобетонные, толщиной 200мм.

Для подачи бетонной смеси в конструкции здания были рассмотрены три варианта схем механизации:

**I вариант** – башенный приставной поворотный кран MITSUBER MCT60FR. Характеристика крана: высота подъема крюка – 110м; вылет стрелы – 45м; грузоподъемность при максимальном вылете стрелы – 1,5т [6].

**II вариант** – строительный бетононасос Schwind Stetter SP1800. Характеристики бетононасоса –

производительность – 65м<sup>3</sup>/час; высота подачи – 120м; диаметр бетоновода – 125мм [7].

**III вариант** – подача бетонной смеси автобетононасосом до 16 этажа с последующей подачей по стационарному бетоноводу. Пример автобетононасос Schwind Stetter S61SX [8]. Характеристики автобетононасоса – производительность – 164м<sup>3</sup>/час; высота подачи по стреле – 1м; количество секций стрелы 6; диаметр бетоновода – 112мм.

Сравнение различных схем транспортирования бетонной смеси осуществляется по трудоемкости и продолжительности подачи бетонной смеси в конструкции каркаса здания.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

### Подача бетонной смеси краном

Башенный поворотный кран MITSUBER MCT60FR

Краткие технические характеристики:

- высота подъема крюка – 110м;
- вылет стрелы – 4 м;
- грузоподъемность при максимальном вылете – 1,5 т.

### Подача бетонной смеси к месту укладки

Согласно [9], работы по подаче материалов башенными кранами, грузоподъемностью до 10 тонн, включают в себя: захват (зацепка) груза, его подъем, поворот стрелы крана, изменение вылета стрелы с грузом (в данном случае – бадьа с бетонной смесью), выгрузка бетонной смеси из бадьа, возврат порожней бадьа.

Состав звена при производстве работ:

- машинист: 5 разряд – 1 чел.
- такелажники: 2 разряд – 2 чел.

При высоте подъема до 12 метров норма времени для машиниста составляет 0,06 маш.-ч.; для такелажников – 0,12 чел.-ч. С увеличением высоты на каждые последующие 6 метров к норме времени для машиниста добавляется 0,012 маш.-ч.; для такелажников – 0,024 чел.-ч.

**Таблица 1.** Нормы времени на подачу бетонной смеси краном  
**Table 1.** Standards of time for the supply of concrete mix by crane

Этаж	Норма времени	
	маш.-ч.	чел.-ч.
1	2	3
1-3	0,06	0,12
4-5	0,072	0,144
6-7	0,084	0,168
8-9	0,096	0,192
10-11	0,108	0,216
12-13	0,12	0,24
14-15	0,132	0,264

Продолжение таблицы 1  
Continued Table 1

16-17	0,144	0,288
18-19	0,156	0,312
20-21	0,168	0,336
22-23	0,18	0,36
24-25	0,192	0,384
26-27	0,204	0,408
28-29	0,216	0,432
30	0,228	0,456

Трудоемкость подачи бетонной смеси к месту укладки

Тр. = Vбет. \* Нвр., чел.-ч.,

где: Vбет. – объем бетона для подачи;

Нвр. – норма времени.

Vбет. = 242 м³

**Таблица 2.** Расчет трудоемкости подачи бетонной смеси краном  
**Table 2.** Calculation of the labor intensity of supplying concrete mixture by crane

Этаж	Расчет	Трудоемкость, чел.-ч.	Этаж	Расчет	Трудоемкость, чел.-ч.
1	242 * 0,12	29,04	16	242 * 0,288	69,7
2	242 * 0,12	29,04	17	242 * 0,288	69,7
3	242 * 0,12	29,04	18	242 * 0,312	75,5
4	242 * 0,144	34,85	19	242 * 0,312	75,5
5	242 * 0,144	34,85	20	242 * 0,336	81,31
6	242 * 0,168	40,66	21	242 * 0,336	81,31
7	242 * 0,168	40,66	22	242 * 0,360	87,12
8	242 * 0,192	46,46	23	242 * 0,360	87,12
9	242 * 0,192	46,46	24	242 * 0,384	92,93
10	242 * 0,216	52,27	25	242 * 0,384	92,93
11	242 * 0,216	52,27	26	242 * 0,408	98,74
12	242 * 0,240	58,08	27	242 * 0,408	98,74
13	242 * 0,240	58,08	28	242 * 0,432	104,54
14	242 * 0,264	63,89	29	242 * 0,432	104,54
15	242 * 0,264	63,89	30	242 * 0,456	110,35

Продолжительность подачи бетонной смеси к месту укладки

Состав звена:

Машинист: 5разряд – 1 чел.

Такелажник: 2разряд – 2 чел.

$$П = \frac{T_p(\text{чел.} - \text{ч.})}{t_{cn} \cdot n_{зв.}} = \frac{T_p(\text{чел.} - \text{ч.})}{8 \cdot 2}, \text{ дней}$$

**Таблица 3.** Расчет продолжительности подачи бетонной смеси краном  
**Table 3.** Calculation of the duration of the delivery of the concrete mixture by the crane

Этаж	Расчет	Продолжительность, дн.	Этаж	Расчет	Продолжительность, дн.
1	(29,04/8)/2	1,8	16	(69,69/8)/2	4,36
2	(29,04/8)/2	1,8	17	(69,69/8)/2	4,36
3	(29,04/8)/2	1,8	18	(75,50/8)/2	4,72
4	(34,85/8)/2	2,16	19	(75,50/8)/2	4,72
5	(34,85/8)/2	2,16	20	(81,31/8)/2	5,08
6	(40,66/8)/2	2,52	21	(81,31/8)/2	5,08
7	(40,66/8)/2	2,52	22	(87,12/8)/2	5,45
8	(46,46/8)/2	2,88	23	(87,12/8)/2	5,45
9	(46,46/8)/2	2,88	24	(92,93/8)/2	5,81

10	(52,27/8)/2	3,24	25	(92,93/8)/2	5,81
11	(52,27/8)/2	3,24	26	(98,74/8)/2	6,17
12	(58,08/8)/2	3,6	27	(98,74/8)/2	6,17
13	(58,08/8)/2	3,6	28	(104,54/8)/2	6,53
14	(63,89/8)/2	3,96	29	(104,54/8)/2	6,53
15	(63,89/8)/2	3,96	30	(110,35/8)/2	6,9
					Итого: 126

**Подача бетонной смеси стационарным бетононасосом**

Стационарный бетононасос Schwing Stetter SP 1800

Краткие технические характеристики:

- объем подачи – 65 м<sup>3</sup>/час;
- давление подачи – 72 бар;
- подача по вертикали – 120м;
- диаметр бетоновода – 125мм.

Согласно [10] в состав работ по подаче бетонной смеси входят: монтаж бетоновода – подноска звеньев, установка опор и укладка на них бетоновода, закрывание и закрепление замков; подача бетонной смеси к месту укладки – регулировка и осмотр бетононасоса, подача смеси к месту распределения и укладки, отсоединение и перестановка звеньев бетоновода (при необходимости), наблюдение за бетоноводом и работой бетононасоса, ликвидация возникших пробок.

**Подача бетонной смеси к месту укладки**

Состав звена:

Машинист бетононасосной установки: 4  
разряд – 1 чел.

Слесарь строительный: 4 разряд – 1 чел.

Бетонщик: 2 разряд – 2 чел.

Тр. = V<sub>бет.</sub> \* Нвр., чел.-ч.,

где: V<sub>бет.</sub> – объем бетона для подачи;

Нвр. – норма времени.

V<sub>бет.</sub> = 242 м<sup>3</sup>

Нвр. = 18 чел.-ч (на 100 м<sup>3</sup>)

Тр. = 2,42 \* 18 = 43,2 чел.-ч.

**Монтаж бетоноводов**

Состав звена:

Машинист бетононасосной установки,  
4 разряд – 1 чел.

Слесарь строительный, 4 разряд – 1 чел.

Слесарь строительный, 2 разряд – 2 чел.

С учетом длины распределительной стрелы в 3 м и радиуса ее действия были обозначены все точки (стоянки) на перекрытии. Количество стоянок – 32.

**Вертикальные участки**

Нвр. = 0,36 чел.-ч (на 1 м бетоновода)

Тр. = Нвр. \* h = 0,36 \* 3 = 1,08 чел.-ч (на 1 этаж)  
(2.3)

Тр. = 1,08 \* 30 = 32,24 чел.-ч (на 30 этажей)

**Горизонтальные участки (монтаж и перестановка)**

Нвр. = 0,21 чел.-ч (на 1 м бетоновода) – монтаж

Нвр. = 0,13 чел.-ч (на 1 м бетоновода) – разборка (перестановка)

Тр. = Нвр. \* L, чел.-ч., (2.4)

где L – длина бетоновода до места укладки бетонной смеси

1 стоянка = 5 стоянка = 0,21 \* 36 = 7,56 чел.-ч.

2 стоянка = 6 стоянка = 0,13 \* 14 = 1,82 чел.-ч.

3 стоянка = 7 стоянка = 0,13 \* 9,9 = 1,3 чел.-ч.

4 стоянка = 8 стоянка = 0,13 \* 14 = 1,82 чел.-ч.

Тр.сб. и переест. гориз. участков = 25 чел.-ч ( на 1 этаж)

Трудоемкость подачи бетонной смеси к месту укладки с учетом монтажа и перестановки бетоноводов.

Общая трудоемкость подачи бетонной смеси включает в себя: трудоемкость сборки и перестановки горизонтальных участков бетоноводов, трудоемкость сборки вертикальных участков бетоноводов и трудоемкость подачи бетонной смеси.

Тр. = Тр.сб. и переест. гориз. участков + Тр. сб. верт. участков + Тр. подачи смеси, чел.-ч.

**Таблица 4.** Расчет трудоемкости подачи бетонной смеси стационарным бетононасосом

**Table 4.** Calculation of the labor intensity of concrete mixture supply by a stationary concrete pump

Этаж	Расчет	Трудоемкость, чел.-ч.	Этаж	Расчет	Трудоемкость, чел.-ч.
1	25,00+1,08+43,20	69,28	16	84,40+1,08	85,48
2	69,29+1,08	70,36	17	85,48+1,08	86,56
3	70,36+1,08	71,44	18	86,56+1,08	87,64
4	71,44+1,08	72,52	19	87,64+1,08	88,72
5	72,52+1,08	73,60	20	88,72+1,08	89,80
6	73,60+1,08	74,68	21	89,80+1,08	90,88
7	74,68+1,08	75,76	22	90,88+1,08	91,96

Продолжение таблицы 4

Continued Table 4

8	75,76+1,08	76,84	23	91,96+1,08	93,04
9	76,84+1,08	77,92	24	93,04+1,08	94,12
10	77,92+1,08	79,00	25	94,12+1,08	95,20
11	79,00+1,08	80,08	26	95,20+1,08	96,28
12	80,08+1,08	81,16	27	96,28+1,08	97,36
13	81,16+1,08	82,24	28	97,36+1,08	98,44
14	82,24+1,08	83,32	29	98,44+1,08	99,52
15	83,32+1,08	84,40	30	99,52+1,08	100,60

Продолжительность подачи бетонной смеси

Состав звена:

Машинист, 4 разряд – 1 чел.

Слесарь строительный, 4 разряд – 2 чел.

Бетонщик, 2 разряд – 1 чел.

$$П = \frac{T_p(\text{чел.} - \text{ч.})}{8 \cdot 3}, \text{ дней}$$

**Таблица 5.** Расчет продолжительности подачи бетонной смеси стационарным бетононасосом.**Table 5.** Calculation of the duration of the delivery of concrete mixture by a stationary concrete pump.

Этаж	Расчет	Продолжительность, дн.	Этаж	Расчет	Продолжительность, дн.
1	(69,28/8)/3	2,9	16	(85,48/8)/3	3,6
2	(70,36/8)/3	2,9	17	(86,56/8)/3	3,6
3	(71,44/8)/3	3,0	18	(87,64/8)/3	3,7
4	(72,52/8)/3	3,0	19	(88,72/8)/3	3,7
5	(73,60/8)/3	3,1	20	(89,80/8)/3	3,7
6	(74,68/8)/3	3,1	21	(90,88/8)/3	3,8
7	(75,76/8)/3	3,2	22	(91,96/8)/3	3,8
8	(76,84/8)/3	3,2	23	(93,04/8)/3	3,9
9	(77,92/8)/3	3,2	24	(94,12/8)/3	3,9
10	(79,00/8)/3	3,3	25	(95,20/8)/3	4,0
11	(80,08/8)/3	3,3	26	(96,28/8)/3	4,0
12	(81,16/8)/3	3,4	27	(97,36/8)/3	4,1
13	(82,24/8)/3	3,4	28	(98,44/8)/3	4,1
14	(83,32/8)/3	3,5	29	(99,52/8)/3	4,1
15	(84,4/8)/3	3,5	30	(100,60/8)/3	4,2
					Итого: 106,2

**Подача бетонной смеси автобетононасосом до 16 этажа с последующей подачей по стационарному бетоноводу**

Автобетононасос Schwing Stetter S 61 SX

Краткие технические характеристики:

- объем подачи – 164 м³/час;
- давление подачи – 85 бар;
- высота подачи – 60,1м;
- диаметр бетоновода – 112мм.

Подача бетонной смеси к месту укладки

Vбет. = 242 м³

Нвр. = 18 чел.-ч (на 100 м³)

Тр. = Vбет. \* Нвр., чел.-ч

Тр. = 2,42 \* 18 = 43,2 чел.-ч.

Трудоемкость подачи бетонной смеси к месту укладки с учетом перестановок и раскладки распределительной стрелы

При расчете общей трудоемкости подачи бетонной смеси помимо самой подачи также учитывается время на перестановку (переезд) автобетононасоса, раскладку распределительной стрелы и время на пуск технологической смеси либо промывку.

Переезд (перестановка) автобетононасоса – 15 мин.

После каждого переезда (перестановки) производятся следующие процессы: раскладывание/складывание распределительной стрелы – 10 мин.; пуск технологической смеси/промывка – 5 мин.

Итого общее время на один переезд (перестановку) – 30 мин.

Количество перестановок на устройство перекрытия одного этажа – 6

Тр. перест. = 30 мин. \* 6 = 180 мин. = 3 часа – время необходимое на переезд и раскладку стрелы с учетом шести стоянок (на один этаж)

Тр. = Тр. подачи + Тр. перест. = 43,2 + 3 = 46,2 чел.-ч. (на один этаж)

Продолжительность подачи бетонной смеси

Состав звена:

Машинист: 4 разряд – 1 чел.

Слесарь строительный: 2 разряд – 2 чел.

4 разряд – 1 чел.

$$P_p = \frac{46,2}{8 \cdot 3} = 1,9, \text{ дн. (на 1 этаж)}$$

Итого (на 16 этажей): 31 день

Трудоемкость подачи бетонной смеси к месту укладки с учетом монтажа стационарного бетоновода и его перестановки.

Общая трудоемкость подачи бетонной смеси включает в себя: трудоемкость сборки и перестановки горизонтальных участков бетоноводов, трудоемкость сборки вертикальных участков бетоноводов и трудоемкость подачи бетонной смеси автобетононасосом.

Тр. = Тр.сб. и перест. гориз. участков + Тр. сб. верт. участков + Тр. подачи смеси автобет., чел.-ч

**Таблица 6.** Расчет трудоемкости подачи бетонной смеси комбинированным способом.

**Table 6.** Calculation of the labor intensity of concrete mixture supply in a combined way.

Этаж	Расчет	Трудоемкость, чел.-ч.
17	85,48+1,08	86,56
18	86,56+1,08	87,68
19	87,68+1,08	88,72
20	88,72+1,08	89,80
21	89,80+1,08	90,88
22	90,88+1,08	91,96
23	91,96+1,08	93,04
24	93,04+1,08	94,12
25	94,12+1,08	95,20
26	95,20+1,08	96,28
27	96,28+1,08	97,36
28	97,36+1,08	98,44
29	98,44+1,08	99,52
30	99,52+1,08	100,60

Продолжительность подачи бетонной смеси с 17 этажа

Состав звена:

Машинист: 4 разряд – 1 чел.

Слесарь строительный: 4 разряд – 2 чел.

Бетонщик: 2 разряд – 1 чел.

$$P = \frac{T_p (\text{чел.} - \text{ч.})}{8 \cdot 3},$$

Таблица 7. Расчет продолжительности подачи бетонной смеси комбинированным способом.

Table 7. Calculation of the duration of the concrete mix in a combined way.

Этаж	Расчет	Продолжительность, дн.
17	(86,56/8)/3	3,6
18	(87,64/8)/3	3,7
19	(88,72/8)/3	3,7
20	(89,80/8)/3	3,7
21	(90,88/8)/3	3,8
22	(91,96/8)/3	3,8
23	(93,04/8)/3	3,9
24	(94,12/8)/3	3,9
25	(95,20/8)/3	4,0
26	(96,28/8)/3	4,0
27	(97,36/8)/3	4,1
28	(98,44/8)/3	4,1
29	(99,52/8)/3	4,1
30	(100,60/8)/3	4,2

Продолжительность подачи бетонной смеси с 17 по 30 этаж – 54,6 дней.

Общая продолжительность подачи бетонной смеси автобетононасосом (до 16 этажа) и по стационарному бетоноводу (с 17 по 30 этаж) 54,6+31=85,6 дней.

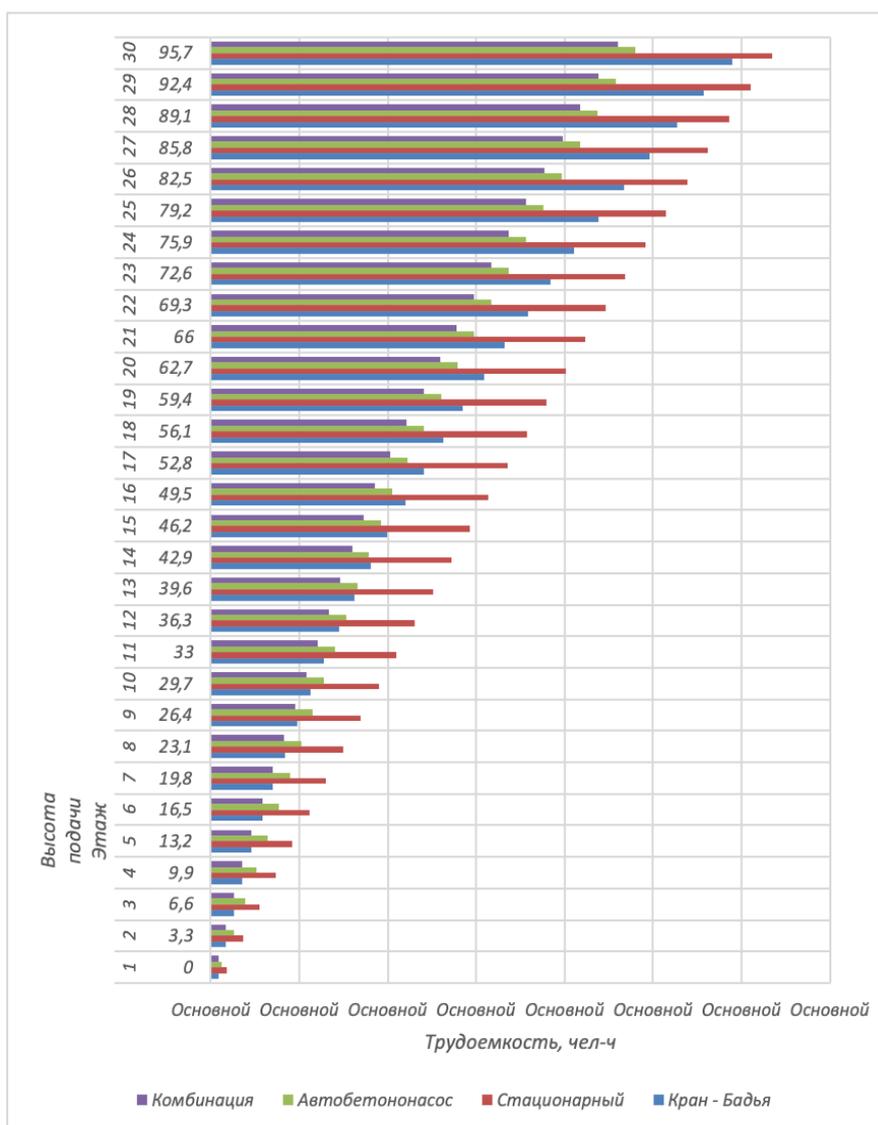


Рис. 1. Гистограмма зависимости трудоемкости от высоты подачи бетонной смеси

Fig. 1. Histogram of the dependence of labor intensity on the height of the concrete mixture

Таким образом, продолжительность подачи бетонной смеси башенным краном MITSUBER MCT60FR составила 126 дней, трудоемкость – 2950,4 чел.-ч.; стационарным бетононасосом Schwind Stetter SP1800 составила 106,2 дня; трудоемкость – 2459,0 чел.-ч.; автобетононасосом Schwind Stetter S61SX до 16 этажа с последующей подачей до 30 этажа по стационарному бетоноводу составила 85,6 дней трудоемкость 2299,2 чел.-ч.

## ВЫВОДЫ

По результатам подсчета трудоемкости и продолжительности подачи бетонной смеси для каждого из предложенных вариантов можно сделать вывод, что наиболее рациональным является подача бетонной смеси автобетононасосом Schwind Stetter S61SX, который до 16-го этажа подает бетонную смесь при помощи собственной 6-ти звенной распределительной стрелы, а при подаче бетонной смеси на последующие, начиная с 17-го этажа монтируется стационарный бетоновод, к которому в период бетонирования конструкций подключается автобетононасос.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синенко, С.А. Опыт применения новых технологий при возведении современных зданий и сооружений (на примере комплекса ММДЦ «Москва – Сити») / С.А. Синенко, Э. Эриширгил, П.Г. Грабовый, Ю.А. Вильман, К.П. Грабовый // научно – технический журнал Вестник МГСУ. – 2012. – № 4. – С. 165-168.
2. Колчеданцев, Л.М. Организационно – технологические решения по транспортированию бетонной смеси к месту бетонирования конструкций высотных зданий / Л.М. Колчеданцев, С.В. Волков // научно-технический и производственный журнал Жилищное строительство. – 2015. – №11. – С. 21-26.
3. Великанов, Н.Л., Наумов В.А., Примак Л.В. Основные этапы выбора стационарного бетононасоса // Механизация строительства. – 2016. – №9. – С.44-49
4. Вильман, Ю.А. Технология строительных процессов и возведения зданий. Современные прогрессивные методы / А.Ю. Вильман. – М.: Издательство АСВ, 2008. – 336 с.
5. Король, Е.А. Особенности технологии и механизации возведения многоэтажных зданий / Е.А. Король, П.Б. Каган // научно – технический журнал Вестник МГСУ. – 2012. – № 4. – С. 170-175.
6. Каталог башенных кранов Mitsuber. [электронный ресурс] // описание крана Mitsuber MTC 60 FR. Режим доступа: <http://www.gruzoviki.com/catalogue> (дата обращения 27.09.2020)
7. Строительные бетононасосы Stetter. [электронный ресурс] // описание стационарного бетононасоса Schwing Stetter SP 1800. Каталог. Режим доступа: <http://www.elticon.ru/>

produkcija/stetter/stationare-coucrete-pumps / (дата обращения 26.09.2020)

8. Бетононасос Schwing. Автобетононасосы. Каталог. [электронный ресурс] // Каталог автобетононасосов с описанием. Режим доступа: <http://www.mechanization.ru/equipment/coucrete-pumps/brand/schwing/> (дата обращения 25.09.2020)
9. ЕНиР. Сборник Е1. Внутривозвращаемые транспортные работы/ Госстрой СССР. – М.: Прейскурантиздат, 1987. – 40 с.
10. ЕНиР. Сборник Е4. Монтаж сборных и устройство монолитных железобетонных конструкций. Выпуск 1. Здания и промышленные сооружения/ Госстрой СССР. – М.: Прейскурантиздат, 1987. – 65 с.
11. Руководство по укладке бетонных смесей бетононасосными установками/ Госстрой СССР. – М., Стройиздат, 1978. – 144 с.

## REFERENCES

1. Sinenko, S.A. Experience in the use of new technologies in the construction of modern buildings and structures (on the example of the MIBC "Moscow - City" complex) / S.A. Sinenko, E. Erishirgil, P.G. Grabovoy, Yu.A. Vilman, K.P. Grabovoy // scientific and technical journal Vestnik MGSU. – 2012. – No. 4. – S. 165-168.
2. Kolchedantsev, L.M. Organizational and technological solutions for the transportation of concrete mixture to the place of concreting structures of high-rise buildings / L.M. Kolchedantsev, S.V. Volkov // scientific-technical and production journal Zhilishchnoe stroitel'stvo. – 2015. – No. 11. – P. 21-26.
3. Velikanov, N.L., Naumov V.A., Primak L.V. The main stages of choosing a stationary concrete pump // Mechanization in construction. – 2016. – No. 9. – P.44-49.
4. Vilman, Yu.A. Technology of construction processes and construction of buildings. Modern progressive methods / A.Yu. Vilman. – М.: Publishing house ASV, 2008. – 336 p.
5. The King, E.A. Features of technology and mechanization of construction of multi-storey buildings / E. A. Korol, P. B. Kagan // scientific and technical journal Vestnik MGSU. – 2012. – No. 4. – P. 170-175.
6. Catalog of tower cranes Mitsuber. [electronic resource] // description of the Mitsuber MTC 60 FR crane. Access mode: <http://www.gruzoviki.com/catalogue> (access date 09/27/2020)
7. Construction concrete pumps Stetter. [electronic resource] // description of the stationary concrete pump Schwing Stetter SP 1800. Catalog. Access mode: <http://www.elticon.ru/produkcija/stetter/stationare-coucrete-pumps/> (date of access 09/26/2020)
8. Schwing concrete pump. Concrete pumps. Catalog. [electronic resource] // Catalog of concrete pumps with a description. Access mode: <http://www.mechanization.ru/equipment/coucrete-pumps/brand/schwing/> (date of access 09/25/2020)

9. ENiR. Collection E1. Intrabuilding transport works / Gosstroy of the USSR. – M.: Price list, 1987. – 40 p.

10. ENiR. Collection E4. Installation of prefabricated and installation of monolithic reinforced concrete structures. Issue 1. Buildings and industrial

structures / Gosstroy of the USSR. – M.: Price list, 1987. – 65 p.

11. Guidelines for laying concrete mixtures with concrete pumping units / Gosstroy USSR. – M.: Stroyizdat, 1978. – 144 p.

## CHOICE OF RATIONAL MECHANIZATION SCHEMES FOR ESTABLISHING THE FRAME OF A 30-STOREY MONOLITHIC RESIDENTIAL BUILDING

Golovchenko I.V.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University,  
4, Vernadskogo avenue, Simferopol, 295007, Russia,  
E-mail: golovchenko.igor.v@gmail.com

**Abstract.** The article analyzes the main methods of supplying concrete mix during the construction of frames of multi-storey monolithic reinforced concrete buildings. Variants of schemes for supplying a concrete mixture of mechanization during the construction of the frame of a 30-storey residential building in Simferopol were selected. Comparison of the selected schemes of mechanization of concrete mixture supply in terms of labor intensity and duration of work is performed.

**Subject:** technical and economic indicators of various methods of supplying concrete mixture during the construction of the frame of a 30-storey monolithic residential building.

**Materials and methods:** literature sources and the results of preliminary experimental studies are analyzed, a technical and economic comparison of various methods of supplying concrete mixtures is carried out.

**Results:** based on the results of the calculations, it was found that with an increase in the number of storeys of a building, the supply of concrete mixture by a tower crane becomes the least efficient. When buildings are more than 16 storeys high, it is advisable to use a stationary concrete pump or a combination of a stationary and auto concrete pump.

**Conclusions:** the most effective from the point of view of labor intensity and duration of the work is the combined method of supplying concrete mixture with the use of automobile and stationary concrete pumps.

**Key words:** concrete mix supply methods; tower crane; stationary concrete pump; auto concrete pump; labor intensity of work; duration of work.



УДК 624.131.551.5

## ЗЕМЛЕРОЙНО-ПНЕВМОТРАНСПОРТНАЯ МАШИНА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ИЗВЕСТНЯКА-РАКУШЕЧНИКА

Ковалёв А.А.<sup>1</sup>, Кутузов В.В.<sup>2</sup>, Елькина И.И.<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Академия строительства и архитектуры ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И.Вернадского»  
295943 г. Симферополь, ул. Киевская, 181, kovaland59@mail.ru

<sup>2</sup> Институт экономики и управления ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И.Вернадского»  
295015, г. Симферополь, ул. Севастопольская, 21/4 albrkr@mail.ru

<sup>3</sup> Академия строительства и архитектуры ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И.Вернадского»  
295943 г. Симферополь, ул. Киевская, 181, irivel@mail.ru

**Аннотация.** Предложена концепция конструкции пневмомеханизированной землеройно-транспортной машины для измельченных отходов камнедробления известняка, представляющая собой комбинацию рабочих органов пневмомеханического и бульдозерного оборудования.

**Предмет исследования:** возможность реализации отвально-пневмошнекового устройства в конструкции предлагаемой землеройно-пневмотранспортной машины (ЗПТМ).

**Материалы и методы:** теоретическая взаимосвязь основных параметров пневмовинтового и бульдозерного оборудования ЗПТМ

**Результаты:** В настоящей работе рассмотрены такие параметры ЗПТМ как: толщина срезаемого слоя составляет  $h = 0,01 \dots 0,04$  м расчетные скорость передвижения базовой машины  $v = 0,25$  м/с, ширина бульдозерного отвала  $L = 4,25$  м, а также избыточное давления воздуха в смесительной камере  $P_k = 0,11 \dots 0,18$  МПа, диаметр шнека  $D_{ш} = 0,18$  м;  $0,2$  м;  $0,25$  м и скорость вращения вала шнека пневмомеханического питателя  $\omega = 16,67$  об/сек.

Установлена зависимость в виде степенной функции глубины среза разрыхленного материала (тонкоизмельченные отходы камнедробления) от давления сжатого воздуха в смесительной аэрокамере отвально-пневмошнековой ЗПТМ.

**Выводы:** особую роль на степень нелинейности зависимости глубины среза материала от давления сжатого воздуха в смесительной аэрокамере оказывает такой параметр, как диаметр шнека пневмомеханического питателя предлагаемой ЗПТМ. Особенность конструкции отвально-пневмошнековой ЗПТМ состоит в том, что по центру бульдозерного отвала выполнено загрузочное отверстие прямоугольной формы. Образовавшийся проем специальным бункером соединяется с приемной камерой пневмомеханической установки. Использование многосекционных отвалов бульдозеров повышенной эффективности с выступающими передними ножами дает возможность расположить приемную камеру пневмомеханической установки впереди по центру отвала, а смесительную аэрокамеру за ним. Такое решение позволяет не нарушать классическую форму бульдозерного отвала за счет использования вертикальных боковых поверхностей

**Ключевые слова:** бульдозерный отвал, пневматическое винтовое оборудование, шнек, отходы карьеров известняка-ракушечника.

### ВВЕДЕНИЕ

В работе [2] отмечается, что «создание высокопроизводительных землеройных машин осуществляется по двум направлениям: совершенствование рабочих органов и машин традиционного типа, находящихся в настоящее время в эксплуатации, и производство принципиально новых рабочих органов и машин на базе использования достижений фундаментальных наук ... Выпуск высокоэффективного землеройного оборудования требует разработки методики синтеза рабочих органов, позволяющих на широкой научной основе осуществлять формирование новых технических решений».

В работе [8] отмечается, что «в настоящее время в Крыму эксплуатируется 30 карьеров по добыче пильного известняка с годовой производительностью более 3,5 млн м<sup>3</sup>. Ежегодно отвалы горнодобывающих предприятий увеличиваются на 1 млн м<sup>3</sup> известняка и лишь половина этих отходов используется как вторичное сырье. ... Необходимо создавать технологии, для которых отходы известняка стали бы основным сырьевым материалом, а отвалы – новыми техногенными карьерами».

Бульдозер являются одним из видов навесного оборудования машин, которые используются в промышленном, гражданском, дорожном, мелиоративном строительстве, так как его конструкция проста, универсальна и имеет низкую себестоимость выполнения работы.

Совершенствование конструкции бульдозера, согласно работ [1, 2, 3, 9], является одним из направлений повышения его качества и эффективности применения в народном хозяйстве страны.

Цели данных направлений: расширение технологических возможностей и зоны действия; повышение производительности; снижение энергоёмкости процесса разработки грунта и металлоёмкости конструкции.

Известно, что основное преимущество пневмовинтового оборудования для сыпучего материала заключается в возможности одновременного выполнения операций измельчения и перемещения материала в шнеконапорном механизме, а также смешивании его с сжатым воздухом в смесительной аэрокамере и дальнейшей подачи аэроматериальной смеси в бункер (или на склад).

Поэтому предлагается концепция землеройно-пневмотранспортной машины для сыпучего

материала, в основу которой положены технологические преимущества бульдозеров и пневмомеханического оборудования.

Суть конструкции заключается в наличии загрузочного прямоугольного отверстия в плоскости бульдозерного отвала и расположении за ним пневматического винтового питателя.

Машина, в основном, предназначена для использования в мелиоративном строительстве для засыпки ям, оврагов, глубоких колодцев, отсыпки водоупорного слоя днища пруда или водоёма, а также для подачи тонкоизмельченных отходов известняка-ракушечника (тырса, штыб, известняковая мука, карбонатный песок и пр.) в кузов автосамосвала или в бункер.

Добавим, что в известном патенте RU 2 414273 «Огнегасящий состав, способ его приготовления и способ пожаротушения» [14] отмечено, что измельченный известняк (карбонат кальция) в виде известняковой муки является хорошо известным средством безопасности в угледобыче. Взрывоопасный огонь можно подавить рассеиванием такой известняковой муки в воздухе. При сильном нагревании известняк химически разлагается:  $\text{CaCO}_3 \Rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ . Эта реакция разложения требует энергии и поэтому дает эффект охлаждения.

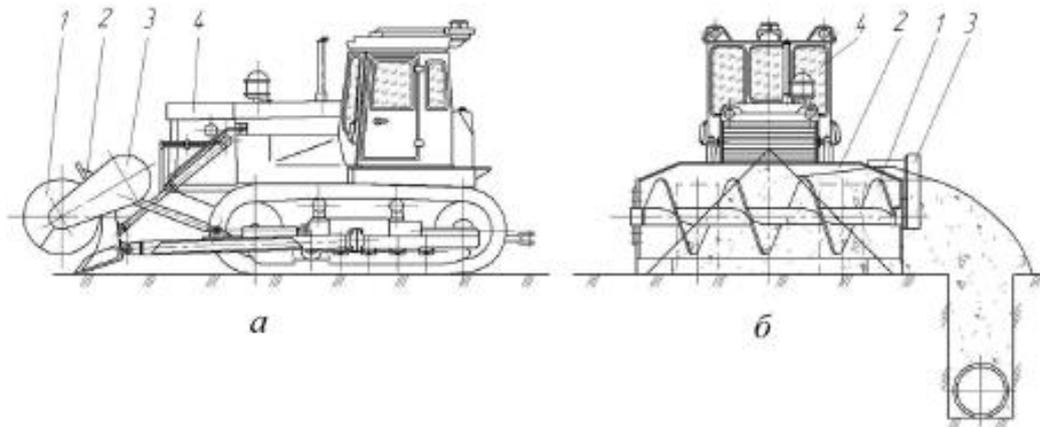
Отметим, что такая техника может применяться для тушения пожара в поле путем подачи огнегасящей сыпучей смеси на кромку фронта пламени.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Рассмотрим научные статьи, патенты и другие опубликованные в отрытой печати литературные источники.

В работе [2] отмечается, что «одним из актуальных вопросов – является создание универсальной строительной техники, работающей на новых физико-технических принципах взаимодействия со средой и обладающей высокими экологическими качествами». В частности, в этой работе приводятся основные виды дополнительного сменного оборудования к бульдозерам с неповоротным отвалом (откосники, открылки, удлинители, кусторезная насадка-нож, грузовые вилы, подъемный крюк и пр.).

Бульдозер с винтошнековым интенсификатором по работе [9] может быть использован для послыйной разработки грунта при работе в качестве путепроходчика и для обратной засыпки траншей (рис. 1).



**Рис. 1.** Общий вид бульдозера, оборудованного винтошнековым интенсификатором: а – вид сбоку; б – вид спереди; 1 – винтошнековый интенсификатор; 2 – бульдозерное оборудование; 3 – привод винтошнекового интенсификатора; 4 – трактор.

**Fig. 1.** General view of a bulldozer equipped with a screw intensifier: a - side view; b - front view; 1 - screw intensifier; 2 - bulldozer equipment; 3 - drive of the screw-screw intensifier; 4 - tractor.

Производительность бульдозерного отвала при копании грунта:

$$P = B \cdot h \cdot v_{\sigma} \cdot K_p, \quad (1)$$

где  $B$  - ширина отвала бульдозера, м;  $h$  - глубина копания грунта, м;  $v_{\sigma}$  - скорость движения базовой машины, м/с;  $K_p$  - коэффициент разрыхления грунта.

Производительность винтошнекового интенсификатора:

$$P_{шн} = 3600 \cdot \frac{\pi \cdot (D_{вн}^2 - d_e^2)}{4} \cdot S \cdot n_{ш} \cdot \psi, \quad (2)$$

где  $D_{вн}$  – наружный диаметр витков шнека, м;  $d_e$  – диаметр вала шнека, м;  $S$  – шаг навивки шнека, м;

$n_{ш}$  – частота вращения шнека,  $c^{-1}$ ;  $\psi$  – коэффициент заполнения межвиткового пространства шнека.

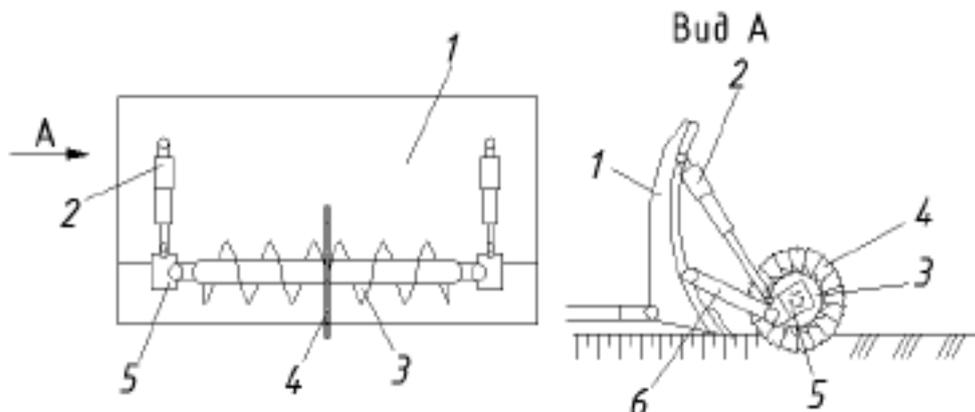
Формула для определения взаимосвязи частоты вращения винтошнекового интенсификатора от его геометрических параметров и скорости движения базовой машины:

$$n_{ш} = \frac{B_{отв} \cdot h \cdot v_{\sigma} \cdot K_p}{900 \cdot \pi \cdot (D_{вн}^2 - d_e^2) \cdot S \cdot \psi}. \quad (3)$$

В патенте № 2410496 Российской Федерации (см. [10]), в конструкции бульдозера применен интенсификатор рабочего процесса – режущее шнековое колесо. Согласно патентных

исследований, проведенных в работе [4], бульдозерное оборудование (рис.2) состоит из отвала 1, гидроцилиндров 2 и режущего органа. Отличие в том, что режущий орган есть шнек 3,

имеющий двустороннюю навивку режущей ленты. Посередине вала установлена режущая фреза 4, а вал прикрепляется с помощью подшипниковых узлов-опор 5 к стойкам 6 отвала.



**Рис. 2.** Схема бульдозерного оборудования по работе [4]:

1 – отвал, 2 – гидроцилиндры, 3 – шнек, 4 – режущая фреза, 5 – подшипниковые узлы-опоры, 6 – стойки отвала.

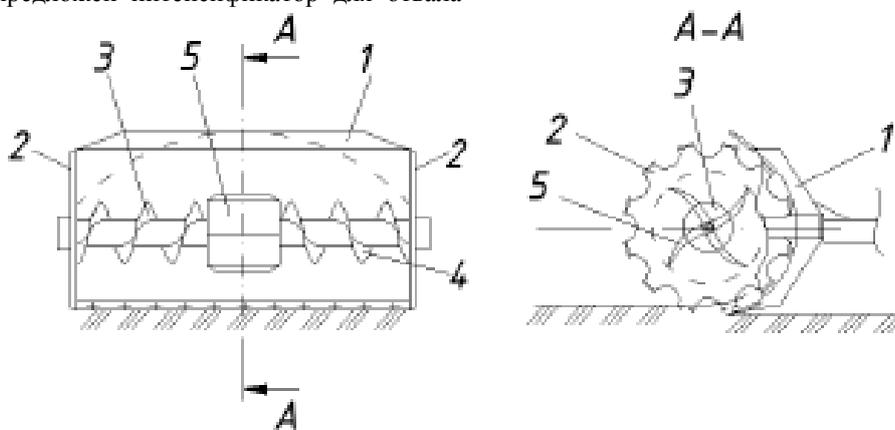
**Fig. 2.** Diagram of bulldozer equipment according to work [4]:

1 – blade, 2 – hydraulic cylinders, 3 – auger, 4 – cutting milling cutter, 5 – bearing units, 6 – blade struts.

Бульдозер с таким (в нашем представлении) режущим шнекороторным интенсификатором может использоваться для рытья траншей и планировки площадок, задавая поверхности необходимый профиль.

В патенте № 2352724 Российской Федерации (см. [11]) предложен интенсификатор для отвала

бульдозера, представляющий собой комбинацию установленных по центру отвала четырех дисков и шнеков, которые расположены симметрично дискам и имеют винтовые поверхности направленные от лопастей 5 к дискам 2 (см. рис. 3).



**Рис. 3.** Схема конструкции отвала по работе [4]:

1 – отвал, 2 – свободно вращающиеся диски, 3,4 – шнеки с разнонаправленными спиралями, 5 – лопасти.

**Fig. 3.** Diagram of the blade design according to [4]:

1 – blade, 2 – freely rotating discs, 3,4 – screws with multidirectional spirals, 5 – blades.

В рассматриваемом патенте, согласно описания в работе [4], такое бульдозерное оборудование позволяет создавать оптимальную форму призмы волочения при использовании на связных

(влажных) грунтах, уменьшать потери грунта в боковые валики.

В патенте № 2359087 Российской Федерации разработан бульдозерный отвал (см.[12] и рис.4), предназначенный для работы на плотных грунтах.

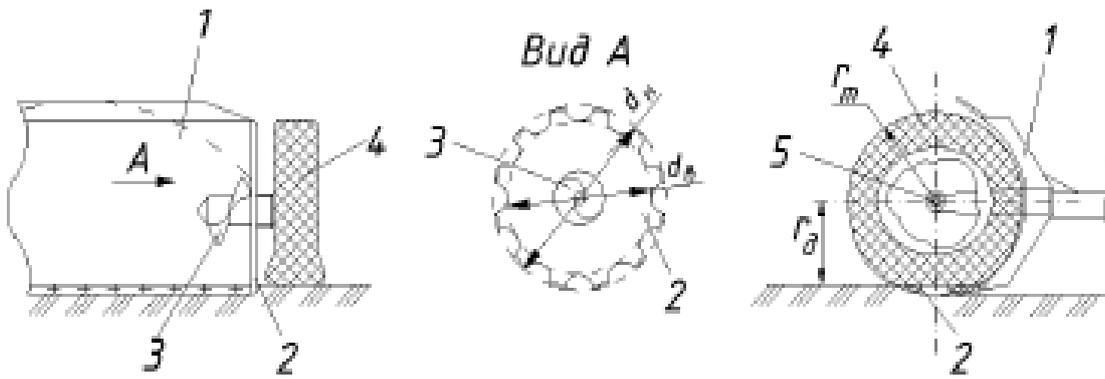


Рис. 4. Схема конструкции отвала по работе [4]:

1 – бульдозерный отвал, 2 – свободно вращающиеся диски, 3 – шнековые лопасти, 4 – колеса с пневматическими шинами, 5 – общая ось.

Fig. 4. Diagram of the blade design according to work [4]:

1 – dozer blade, 2 – freely rotating discs, 3 – auger blades, 4 – wheels with pneumatic tires, 5 – common axle.

В патенте описывается бульдозерный отвал 1, у которого интенсификатор рабочего процесса представляет собой сочетание дисковой фрезы 2 (в патенте свободно вращающиеся диски 2), консольных шнеков 3 (в патенте шнековые лопасти 3) и пневмошин 4 (в патенте колеса с пневматическими шинами 4), расположенных вместо боковых открьлок и установленных на общей оси вращения 5. Свободно вращающиеся диски 2 имеют зубчатую режущую кромку. Консольные шнеки 3 имеют разнонаправленные винтовые поверхности. Диаметр каждого из шнеков меньше, чем диаметр впадин режущей кромки диска фрезы.

Как отмечено в работе [4], достоинствами такого бульдозера являются повышение эффективности

разработки плотных грунтов и снижение энергоемкости за счет повышения производительности.

Рабочий орган бульдозера, согласно патента № 2459910 Российской Федерации предназначен для работы на грунтах с низкой несущей способностью.

Согласно патенту [13] рабочий орган бульдозера (см. рис.5 ) включает отвал 1 с несущей рамой 2. Интенсификатор рабочего процесса представляет собой комбинацию небольшого ленточного конвейера и конических фрез 5 (в патенте дисковые ножи 5), установленных по торцам отвала. Лента конвейера имеет сребки 6.

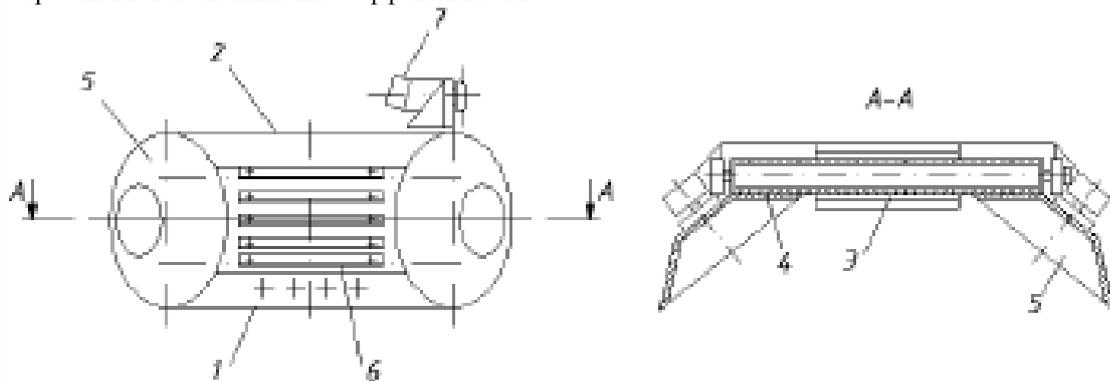


Рис. 5. Схема конструкции отвала по работе [4]:

1 – отвал, 2 – несущая рама, 3 – бесконечная гибкая лента со скребками; 4 – фрикционное покрытие, 5 – дисковые ножи; 6 – скребки.

Fig. 5. Diagram of the blade design according to work [4]:

1 – blade, 2 – supporting frame, 3 – endless flexible belt with scrapers; 4 – friction coating, 5 – circular knives; 6 – scrapers.

Верхний поворотный барабан по средствам цепной передачи прикреплен к гидромотору, закрепленному на раме. Также используется фрикционная передача от барабанов конвейера к боковым поверхностям конических фрез. Поэтому применено фрикционное покрытие на наружной стороне барабанов и конических фрез. Достоинства данного технического решения – это создание оптимальной призмы волочения и увеличение

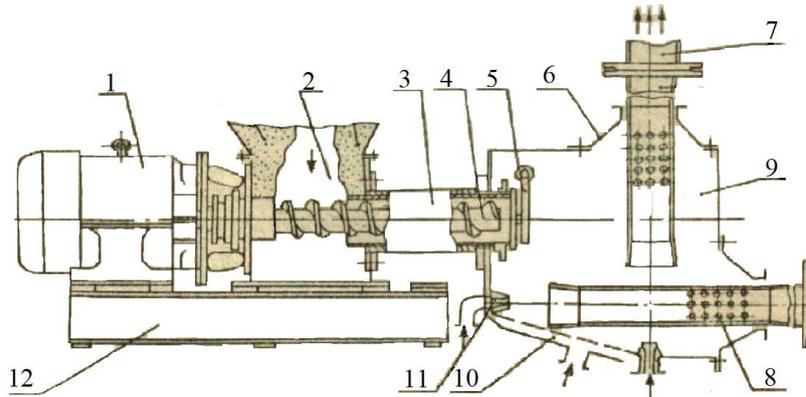
производительности при работе на грунтах с низкой несущей способностью.

Далее рассмотрим конструкции и принцип работы пневмомеханической установки нагнетательного действия для сыпучего материала, оборудованной горизонтальным шнеком и универсальной смесительной аэрокамерой (см. [6] и рис. 6).

Пневмовинтовая установка (или пневмомеханическая), представленная на рис. 6, отличается конструкцией смесительной камеры 9.

Принцип работы этой установки. Материал поступает в приемную камеру 2. Затем, консольным

шнеком 4 по цилиндру 3 преодолевая сопротивление обратного клапана 5 сыпучий материал наклонное днище 10 (аэрирующее устройство). Далее интенсивно разрыхляется, насыщается воздухом и перемещается к эжектору 8.



**Рис. 6.** Схема пневмовинтовой установки с унифицированной смесительной камерой:

- 1 – электродвигатель; 2 - приемная камера; 3 – цилиндрический корпус (цилиндр); 4 – шнек; 5 – обратный клапан; 6 – переставляемая коническая насадка; 7 – транспортный трубопровод; 8 – эжектор; 9 – смесительная аэрокамера; 10 – наклонное аэроднище; 11 – сопло; 12 – станина.

**Fig. 6.** Diagram of a pneumatic screw installation with a unified mixing chamber:

- 1 – electric motor; 2 – receiving chamber; 3 – cylindrical body (cylinder); 4 – auger; 5 – check valve; 6 – adjustable conical nozzle; 7 – transport pipeline; 8 – ejector; 9 – mixing aerial chamber; 10 – inclined airfield; 11 – nozzle; 12 – bed.

Если пневмовинтовая установка работает в режиме пневмонасоса, то сопло 11 и эжектор 8 устанавливаются в горизонтальное положение. Для работы в режиме пневмоподъемника сопло 11 и эжектор 8 переставляется с помощью конической насадки 6 в вертикальное положение. Через открытый нижний торец и открытые сквозные отверстия эжектора 8 материал поступает в транспортный трубопровод 7.

Производительность пневмовинтовой установки в режиме пневмоподъемника (рис. 6), отмечается в работе [7], определяется по последним напорным виткам шнека по формуле:

$$P_{ш} = 0,785 \cdot (D_{ш}^2 - d_v^2) \cdot S'_н \cdot K_{ск} \cdot \rho_o \cdot n \cdot 60, \quad (4)$$
 где  $D_{ш}$  – диаметр шнека, м;  $d_v$  – диаметр вала шнека, м;  $S'_н$  – шаг последнего напорного витка без толщины витка;  $K_{ск}$  – коэффициент скольжения шнека;  $\rho_o$  – средняя плотность материала, т/м<sup>3</sup>;  $n$  – частота вращения шнека, мин<sup>-1</sup>.

$$K_{ск} = B \cdot S \cdot (10 \cdot p_k)^\xi, \quad (5)$$
 где  $B$  – коэффициент, показывающий степень влияния угла подъема  $\alpha_{cp}$  винтовой линии последнего напорного витка на коэффициент скольжения  $K_{ск}$ , равный

$$B = -0,0197 \cdot \alpha_{cp}^2 + 0,534 \cdot \alpha_{cp} - 2,62, \quad (6)$$
 где  $\alpha_{cp}$  – угол подъема винтовой линии витка по среднему радиусу;  $S$  – коэффициент, учитывающий степень влияния коэффициента уплотнения шнека  $K_y$  на коэффициент скольжения  $K_{ск}$ .

$$S = -0,53 \cdot K_y^2 + 1,64 \cdot K_y - 0,65, \quad (7)$$

где  $K_y$  – коэффициент уплотнения шнека, определяемый как отношение межвиткового пространства первого заборного и последнего напорного витков:

$$K_y = \frac{S_3 - \delta_3}{S_H - \delta_H}; \quad (8)$$

$\xi$  – коэффициент, показывающий степень влияния диаметра шнека  $D_{ш}$  на коэффициент скольжения  $K_{ск}$  (определяется по графику в [6]).

Степенная связь избыточного давления в смесительной камере питателя и коэффициента  $\xi - (10 \cdot p_k)^\xi$  – отражает степень влияния противодавления и диаметра шнека на величину коэффициента скольжения  $K_{ск}$  и учитывает уплотнение материала в шнеке за счет избыточного давления.

Формула производительности винтовых питателей (см. [5]) учитывает влияние избыточного давления на работу питателя с помощью опытного коэффициента  $k$ .

Эта зависимость имеет вид:

$$G = 3600 \cdot F_M \cdot \gamma \cdot v (1 - k \cdot p), \text{Т/ч}, \quad (9)$$

где  $F_M$  – площадь поперечного сечения транспортируемого материала в м<sup>2</sup>;  $\gamma$  – плотность транспортируемого материала в т/м<sup>3</sup>;  $v$  – поступательная скорость движения сыпучего материала в м/с;  $p$  – избыточное давление в аэрокамере в кг/см<sup>2</sup>;  $k$  – коэффициент, значения которого определяются опытным путем (при  $n = 1460$  об/мин для питателя ПШМ-1  $k=0,5$ , для питателя ПШМ-2  $k=0,75$ , при  $n = 980$  об/мин для питателя ПШМ-3  $k=0,47$ ).

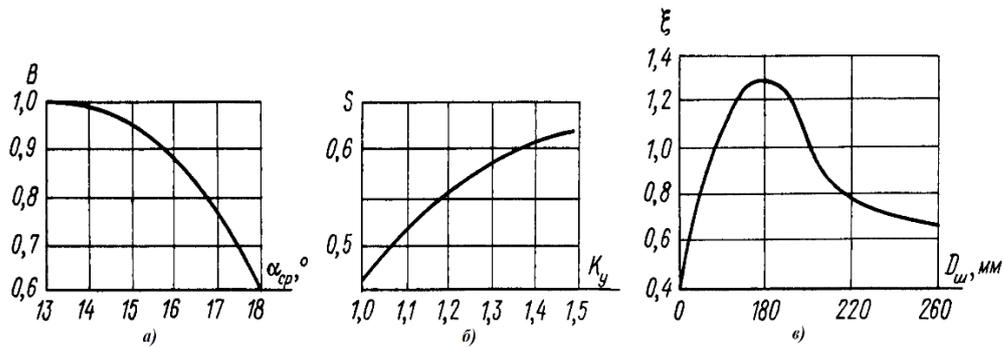


Рис.7. Зависимость составляющих коэффициента скольжения:

а) – B от угла подъема  $\alpha_{CP}$  винтовой линии последнего напорного витка шнека; б) – S от коэффициента уплотнения шнека  $K_U$ ; в) –  $\xi$  от диаметра шнека  $D_{ш}$ .

Fig. 7. Dependence of the components of the slip coefficient:

а) – B from the ascent angle  $\alpha_{CP}$  of the helical line of the last pressure head of the screw; б) – S from the coefficient of compaction of the screw  $K_U$ ; в) –  $\xi$  from the screw diameter  $D_{ш}$ .

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассмотренные ранее интенсификаторы рабочего процесса бульдозера, в основном, ускоряли процесс формирования призмы волочения при использовании на различных грунтах.

Дорожные машины, оборудованные отвальными рабочими органами, с различными отверстиями в конструкции отвала известны. Это, например, снегоуборочные машины для содержания автомобильных дорог и аэродромов.

Отличительная особенность предлагаемого интенсификатора ЗПТМ (см. рис. 8) заключается, во-первых, в том, что загрузочное окно 2 в конструкции отвала 1 играет роль

потокоформирующего элемента, и во-вторых, применяется для тонкоизмельченных и разрыхленных отходов камнедробления (в дальнейшем по тексту - сыпучий материал). Пневмомеханическая установка (ПМУ) 3 размещена за бульдозерным отвалом 1. Плоскость отверстия приемной камеры 4 ПМУ 3 расположена горизонтально (в своем обычном рабочем положении). Загрузочное окно 2 и приемная камера 4 связаны бункером 8.

ПМУ содержит в своей конструкции цилиндрический корпус 5 (далее по тексту цилиндр) со шнеком 7 и универсальную смесительную аэрокамеру 6.

Компоновочная схема отвального пневмошнекового механизма ЗПТМ представлен на рис. 8.

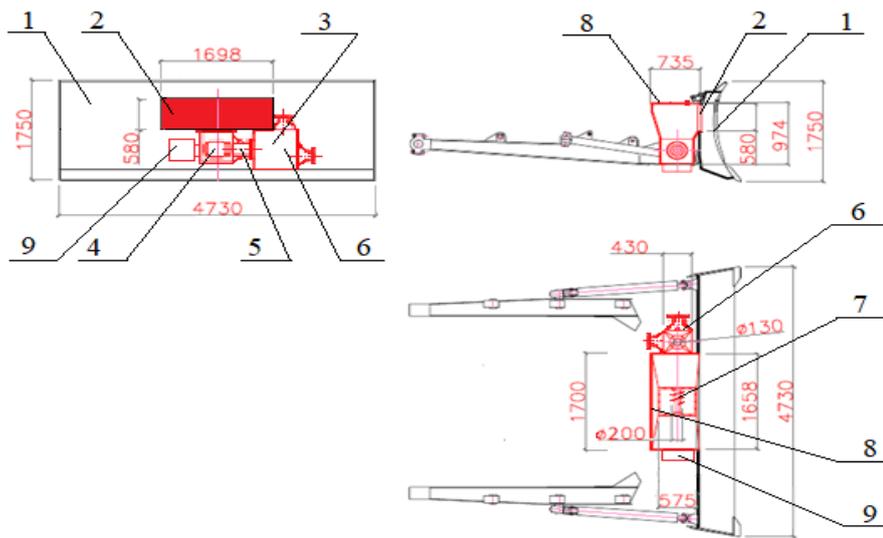


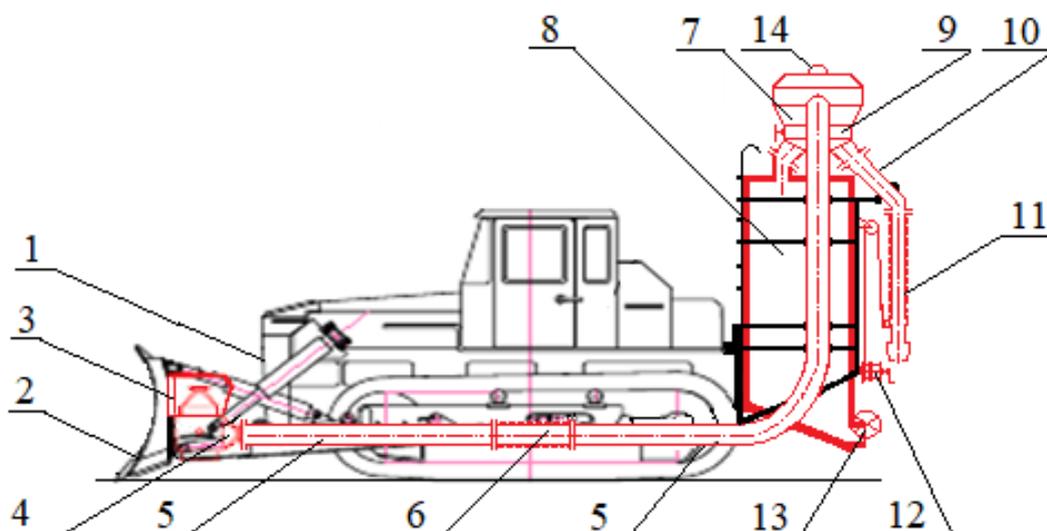
Рис.8. Схема отвально-шнекового механизма землеройно-пневмотранспортной машины.

1 – бульдозерный отвал; 2 – загрузочное окно бульдозерного отвала; 3 – пневмовинтовое оборудование (пневмовинтовая установка); 4 – приемная камера; 5 – цилиндрический корпус (цилиндр); 6 – универсальная смесительная аэрокамера; 7 – шнек; 8 – бункер; 9 – привод.

Fig. 8. Diagram of the moldboard-auger mechanism of the earth-moving pneumatic transport machine:

1 – dozer blade; 2 – loading window of the dozer blade; 3 – pneumatic screw equipment (pneumatic screw installation); 4 – receiving chamber; 5 – cylindrical body (cylinder); 6 – universal mixing aerial chamber; 7 – auger; 8 – bunker; 9 – drive.

Для описания процесса работы машины используем рис. 9.



**Рис.9.** Общая схема устройства предлагаемой землеройно-пневмотранспортной машины (ЗПТМ):

1 – базовая машина; 2 – отвал; 3 – загрузочное окно; 4 – пневмомеханическая установка с унифицированной смесительной камерой; 5 – нагнетательный трубопровод; 6 – гибкий участок трубопровода; 7 – бункер-гаситель; 8 – основной бункер; 9 – переключатель направления потока материала; 10 – патрубок для отвода потока материала; 11 – гибкий трубопровод; 12 – приспособление для подъема гибкого трубопровода; 13 – боковой пневматический разгрузатель; 14 – патрубок для отвода воздуха к фильтру.

**Fig. 9.** General diagram of the device of the proposed earthmoving and pneumatic transport machine (ZPTM):

1 – basic machine; 2 – blade; 3 – loading window; 4 – pneumatic mechanical plant with a unified mixing chamber; 5 – delivery pipeline; 6 – flexible section of the pipeline; 7 – bunker-damper; 8 – main bunker; 9 – material flow direction switch; 10 – branch pipe for diverting the material flow; 11 – flexible pipeline; 12 – a device for lifting a flexible pipeline; 13 – side pneumatic unloader; 14 – branch pipe for air outlet to the filter.

На первом этапе рабочего процесса слой предварительно разрыхленного сыпучего материала перемещается по поверхности отвала 2. Далее сыпучий материал перемещается к загрузочному отверстию 3 и сквозь него поступает в бункер. В нижней части бункера расположена приемная камера ПМУ.

На втором этапе из приемной камеры шнеком разрыхленный материал направляется по цилиндрическому корпусу в универсальную смесительную аэрокамеру, где происходит его смешивание с воздухом. В процессе перемещения по цилиндрическому корпусу шнек измельчает и домальвает комки перемещаемого материала. Далее измельченный материал направляется в смесительную аэрокамеру.

На третьем этапе в смесительной аэрокамере поток частиц измельченного материала смешивается с сжатым воздухом и поступает в нагнетательный трубопровод 5.

Затем аэроматериальная смесь под действием избыточного давления сжатого воздуха через бункер-гаситель 7 перемещается в основной бункер 8. Переключатель потока 9 направляет поток в патрубок 10 и далее в гибкий трубопровод 11 в случае выгрузки материала в автомобиль.

Для разгрузки бункера 8, также, используется пневматический боковой разгрузатель 13. Подъем и опускание гибкого трубопровода 11 производится с помощью система блоков и полиспаатов 12. Воздух через патрубок 14 отводится для очистки.

1. Предположения, положенные в основу расчетной модели:

1.1. Конструкция отвала бульдозера содержит отверстие, через которое поступает в установившемся режиме срезаемый отвалом при ходе бульдозера материал;

1.2. Дальнейшее транспортирование материала осуществляется одно – или двухопорным шнеком (имеющий две противоположно (или встречно) направленные винтовые поверхности);

1.3. Сбор материала осуществляется в бункер, расположенный за бульдозером.

2. Основное балансовое соотношение.

Из предположения (1.1) об установившемся режиме движения материала к шнековому механизму следует

$$Q_0 = Q_{\text{шн}} \quad (10)$$

где  $Q_0$  – объем срезаемого материала,  $Q_{\text{шн}}$  – объем транспортируемого шнековым механизмом материала, за единицу времени (в расчетах - за 1 секунду).

3. Геометрические параметры элементов отвального механизма.

$h$  – глубина срезаемого слоя, м

$v$  – скорость бульдозера,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$L$  – ширина отвала, м.

Отсюда:

$$Q_0 = Lv h \quad (11)$$

Геометрические и кинематические параметры шнекового механизма:

$D$  – диаметр шнека, м;

$d_{\text{шн}}$  – диаметр вала шнека, м;

$s$  – шаг шнека, м;

$n$  – скорость вращения вала шнека, оборотов/минуту;

$\omega$  – скорость вращения вала шнека, об/с.

Объемная производительность одного шнека (с одним цилиндрическим корпусом)

$$Q_{\text{шн}}^1 = 0,785 \cdot (D^2 - d_{\text{шн}}^2) \cdot n \cdot S'_H \cdot \frac{K_{CK}}{60}, \quad (12)$$

с двумя шнеками (с двумя цилиндрическими корпусами)

$$Q_{\text{шн}}^2 = 1,57 \cdot (D^2 - d_{\text{шн}}^2) \cdot n \cdot S'_H \cdot K_{CK}/60. \quad (13)$$

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Предварительное обсуждение возможных технических решений.

Параметры  $h, L, v, m$  (количество цилиндрических корпусов (цилиндров) -1 или 2),  $D, d, s, n, S'_H, K_{CK}$  не могут быть заданы произвольно. Координирующее их взаимодействие соотношение (1) при учете зависимостей (8), (9) и (10) резко сужает круг возможных технических решений. Более того, в зависимости от условий применения устройства возможны различные комбинации указанных параметров. В связи с этим отметим то обстоятельство, что перечисленные параметры существенно различаются по своей роли в балансовой зависимости:

$h, v$ , имеют непрерывный характер изменения и вполне определенные диапазоны изменения:  $h = 0,01 \dots 0,25$  (м),  $v = 0,25 \dots 0,75$  (м/с).

В то же время параметры  $L, m, D, d, s, n$  принимают дискретные ряды значений, что обусловлено наличием конкретных устройств с известными геометрическими и кинематическими значениями.

Для обеспечения совместности работы приравняем выражения (11) и (12).

Глубина срезаемого слоя грунта  $h$  бульдозера с отвальным пневмошнековым напорным механизмом определяется в зависимости от  $D, d_{\text{шн}}, S'_H, n, L, v$ , по формуле:

$$h = [0,785(D^2 - d_{\text{шн}}^2) \cdot n/60 \cdot S'_H \cdot K_{CK}]/(L \times v) \quad (14)$$

Подставим в выражение (13) зависимость (5), получим

$$h = [0,785(D^2 - d_{\text{шн}}^2) \cdot 16,67 \cdot S'_H \cdot B \cdot S \cdot (10 \cdot P_K)^\xi]/(L \times v) \quad (15)$$

где  $P_K$  – избыточное давление в смесительной камере ПМУ, МПа.

Зафиксируем значения  $\omega = 16,67$  об/сек,  $v = 0,25$  м/с,  $L = 4,25$  м.

Запишем вспомогательное выражение  $0,785 \cdot 16,67/(L \times v) = 12,31619$ .

Тогда  $h = 12,31619 \cdot (D^2 - d_{\text{шн}}^2) \cdot S'_H \cdot B \cdot S \cdot (10 \cdot P_K)^\xi$ .

Зафиксируем значения параметров  $D = 0,2$  м,  $d_{\text{шн}} = 0,1$  м,  $S'_H = 0,12$  м. Далее, принимаем значение коэффициента уплотнения шнека  $K_y = 1,1$  по графику а) на рис.7 получаем  $S = 0,52$ . Затем, принимаем угол подъема винтовой линии витка по среднему радиусу  $\alpha_{\text{cp}} = 18^\circ$  и по графику б) на рис. 7 получим величину  $B = 0,6$ . При этом  $D^2 - d_{\text{шн}}^2 = 0,03$ .

Тогда для шнека  $D = 0,2$  м получим  $h = 0,013834 \cdot (10 \cdot P_K)^\xi$ , где  $\xi = 1$  (см. график в) рис. 7). Тогда обозначим  $A = 0,013834 \approx 0,014$ . Назовем коэффициент  $A$  параметром, характеризующим глубину срезаемого слоя.

Значит

$$h = 0,014 \cdot (10 \cdot P_K). \quad (16)$$

График зависимости приведен на рис. 10.

Зафиксируем значения параметров  $D = 0,18$  м,  $d_{\text{шн}} = 0,09$  м,  $S'_H = 0,11$  м,  $\omega = 16,67$  об/сек,  $v = 0,25$  м/с,  $L = 4,25$  м. Далее, принимаем значение коэффициента уплотнения шнека  $K_y = 1,12$  по графику а) на рис.7 получаем  $S = 0,55$ . Затем, принимаем угол подъема винтовой линии витка по среднему радиусу  $\alpha_{\text{cp}} = 18^\circ$  и по графику б) на рис. 7 получим величину  $B = 0,6$ . При этом  $D^2 - d_{\text{шн}}^2 = 0,0243$ .

Тогда для шнека  $D = 0,18$  м получим  $h = 0,010864 \cdot (10 \cdot P_K)^\xi$ , где  $\xi = 1,28$  (см. график в) рис. 7). Принимаем  $A = 0,011$ .

Следовательно

$$h = 0,011 \cdot (10 \cdot P_K)^{1,28}. \quad (17)$$

График зависимости приведен на рис. 10.

Зафиксируем значения параметров  $D = 0,25$  м,  $d_{\text{шн}} = 0,12$  м,  $S'_H = 0,15$  м. Далее, принимаем значение коэффициента уплотнения шнека  $K_y = 1,0$  по графику а) на рис.7 получаем  $S = 0,47$ . Затем, принимаем угол подъема винтовой линии витка по среднему радиусу  $\alpha_{\text{cp}} = 18^\circ$  и по графику б) на рис. 7 получим величину  $B = 0,6$ . При этом  $D^2 - d_{\text{шн}}^2 = 0,0481$ .

Тогда для шнека  $D = 0,25$  м получим  $h = 0,025059 \cdot (10 \cdot P_K)^\xi$ , где  $\xi = 0,67$  (см. график в) рис. 7).  $A = 0,025$ .

Следовательно

$$h = 0,025 \cdot (10 \cdot P_K)^{0,67}. \quad (18)$$

График зависимости приведен на рис. 10.

Составим таблицу, которая отражает взаимозависимости основных параметров, соответствующей формулам 16, 17, 18. Данные приведены в табл. 1.

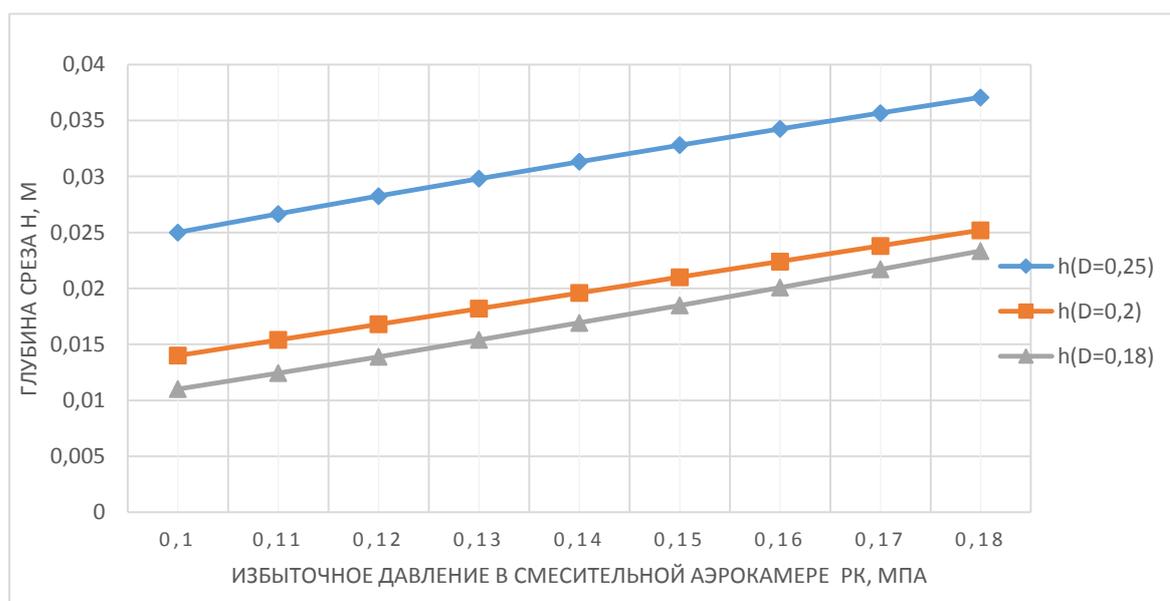
**Таблица 1.** Расчет  $h$  по формулам 16, 17, 18  
**Table 1.** Calculation of  $h$  using formulas 16, 17, 18

$dP_k$	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
$P_k$	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18
$D$	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
$A$	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
$\xi$	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28
$10P_k$	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
$h(D=0,18)$	0,011	0,01245	0,01389	0,01539	0,01692	0,01848	0,02008	0,0217	0,02334
$D$	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
$A$	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
$\xi$	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$10P_k$	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
$h(D=0,2)$	0,014	0,0154	0,0168	0,0182	0,0196	0,021	0,0224	0,0238	0,0252
$D$	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
$A$	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
$\xi$	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
$10P_k$	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
$h(D=0,25)$	0,025	0,02665	0,02825	0,0298	0,03132	0,0328	0,03425	0,03567	0,03707

Для построения графика функций  $h=f(P_k)$  составим расчетную таблицу (см. табл.№2).

**Таблица 2.** Табличное представление функций  $h=f(P_k)$   
**Table 2.** Tabular representation of the functions  $h = f(P_k)$

$P_k$	$h(D=0,18)$	$h(D=0,2)$	$h(D=0,25)$
0,1	0,011	0,014	0,025
0,11	0,01245	0,0154	0,02665
0,12	0,01389	0,0168	0,02825
0,13	0,01539	0,0182	0,0298
0,14	0,01692	0,0196	0,03132
0,15	0,01848	0,021	0,0328
0,16	0,02008	0,0224	0,03425
0,17	0,0217	0,0238	0,03567
0,18	0,02334	0,0252	0,03707



**Рис.10.** Совмещенный график зависимости глубины среза  $h$  от избыточного давления  $P_k$  в смесительной камере ПМУ ЗТМ для функций  $h=f(P_k)$  ( $h(D=0,18)$ , для  $h(D=0,2)$ , для  $h(D=0,25)$ )

**Fig. 10.** Combined graph of the dependence of the cut depth  $h$  on the excess pressure  $P_k$  in the mixing chamber of the ПМУ ЗТМ for the functions  $h = f(P_k)$  ( $h(D = 0.18)$ , for  $h(D = 0.2)$ , for  $h(D = 0.25)$ )

## ВЫВОДЫ

1. В настоящее время одним из направлений развития землеройно-транспортных машин является применение различных интенсификаторов рабочего процесса, специфические свойства которых определяются не только конкретными физико-механическими свойствами обрабатываемых грунтов, но и природой физических эффектов, положенных в основу новых технических решений (например, бульдозерное оборудование совкового типа с воздушной подушкой, газоздушная смазка поверхности скольжения отвала бульдозера и пр.).

2. В настоящей работе рассмотрены такие параметры ЗПТМ как: толщина срезаемого слоя составляет  $h = 0,01 \dots 0,04$  м расчетные скорость передвижения базовой машины  $v = 0,25$  м/с, ширина бульдозерного отвала  $L = 4,25$  м, а также избыточное давления воздуха в смесительной камере  $P_k = 0,11 \dots 0,18$  МПа, диаметр шнека  $D_{ш} = 0,18$  м;  $0,2$  м;  $0,25$  м и скорость вращения вала шнека пневмомеханического питателя  $\omega = 16,67$  об/с.

Установлена зависимость в виде степенной функции глубины среза разрыхленного материала (тонкоизмельченные отходы камнедробления) от давления сжатого воздуха в смесительной аэрокамере отвально-пневмошнековой ЗПТМ.

3. Отметим, что особую роль на степень нелинейности зависимости глубины среза материала от давления сжатого воздуха в смесительной аэрокамере оказывает такой параметр, как диаметр шнека пневмомеханического питателя предлагаемой ЗПТМ.

4. В тематике строительной и дорожной техники существуют примеры машин, оборудованных отвальными рабочими органами с технологическими отверстиями различного функционального назначения. Особенность конструкции отвально-пневмошнековой ЗПТМ состоит в том, что по центру бульдозерного отвала выполнено загрузочное отверстие прямоугольной формы. Образовавшийся прием специальным бункером соединяется с приемной камерой пневмомеханической установки.

Однако, использование многосекционных отвалов бульдозеров повышенной эффективности с выступающими передними ножами дает возможность расположить приемную камеру пневмомеханической установки впереди по центру отвала, а смесительную аэрокамеру за ним. Такое решение позволяет не нарушать классическую форму бульдозерного отвала за счет использования вертикальных боковых поверхностей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баловнев В.И., Хмара Л.А. Интенсификация земляных работ в дорожном строительстве. М.: Транспорт, 1983. – 183 с.

2. Баловнев В.И., Хмара Л.А. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве. М.: Транспорт, 1993. – 383 с.

3. Бочкарева Т.М. Технология планировочных и землеройных работ: учебно-методическое пособие. Пермь: Изд-во Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2015. – 132 с.

4. Гончарова О.В., Вахрушев С.И. Патентные исследования по совершенствованию конструкции отвалов бульдозеров // Строительство и архитектура. Опыт и современные технологии. Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Электрон. журнал. 2016. Часть 1. Режим доступа: <http://sbornikstf.pstu.ru/council/?n=6&s=302>. (дата обращения 25.05.2020).

5. Малис А.Я. Пневматический транспорт сыпучих материалов при высоких концентрациях. М.: Машиностроение, 1969. – 183 с.

6. Морозов А.Д. Модернизация и повышение экологической чистоты пневмотранспорта. Учеб. пособие. К.: УМК ВО, 1992. – 72 с.

7. Пневмотранспортное оборудование: Справочник / М.П. Калинушкин, М.А. Коппель, В.С. Серяков, М.М. Шапунов; под общ. ред. М.П. Калинушкина. – Л.: Машиностроение, 1986. – 286 с.

8. Федоркин С.И. Механоактивация вторичного сырья в производстве строительных материалов. Симферополь: Таврия, 1997. – 180 с.

9. Хмара Л.А., Кроль Р.Н. Теоретическое исследование режимов работы шнекового интенсификатора // Международная научно-техническая конференция «Интерстроймех – 2005»: труды. Ч. 1. Тюмень: ТюмГНГУ. – 2005. – С.262-266.

10. Полковников Ю.Ф., Новиков В.С., Голев С.А. Бульдозер: пат. 2410496 Российская Федерация. 2011. Бюл. № 3. – 5 с.

11. Курилов Е.В., Алексеев А.А. Бульдозерное оборудование: пат. 2352724 Российская Федерация. 2009. Бюл. № 11. 6 с.

12. Курилов Е.В., Алексеев А.А. Бульдозерное оборудование: пат. 2359087 Российская Федерация. 2007. Бюл. № 17. – 5 с.

13. Курилов Е.В., Гаг Я.В., Бородулина М.А. Рабочий орган бульдозера: пат. 2459910 Российская Федерация. 2012. Бюл. № 24. – 5 с.

14. Бьорк Я. Огнегасящий состав, способ его приготовления и способ пожаротушения: пат. RU 2 414273 Российская Федерация. 2009. Бюл. № 31. – 2 с.

## REFERENCES

1. Balovnev V.I., Khmara L.A. Intensification of earthworks in road construction. M.: Transport, 1983. – 183 p.

2. Balovnev V.I., Khmara L.A. Intensification of soil development in road construction. Moscow: Transport, 1993. – 383 p.

3. Bochkareva T.M. Technology of planning and excavation works: teaching aid. Perm.: Publishing house of the Perm National Research Polytechnic University, 2015. – 132 p.

4. Goncharova O.V., Vakhrushev S.I. Patent research on improving the design of bulldozer dumps // Building and architecture. Experience and modern technologies. Perm National Research Polytechnic University. Electron. magazine. 2016. Part 1. Access mode: <http://sbornikstf.pstu.ru/council/?n=6&s=302>. (date of treatment 05/25/2020).

5. Malis A.Ya. Pneumatic conveying of bulk materials at high concentrations. M.: Mashinostroenie, 1969. – 183 p.

6. Morozov A.D. Modernization and improvement of environmental friendliness of pneumatic transport. Textbook. allowance. K.: UMK VO, 1992. – 72 p.

7. Pneumatic conveying equipment: Handbook / M.P. Kalinushkin, M.A. Koppel, V.S. Seryakov, M.M. Shapunov; under total. ed. M.P. Kalinushkin. – L.: Mashinostroenie, 1986. – 286 p.

8. Fedorkin S.I. Mechanical activation of secondary raw materials in the production of building materials. Simferopol: Tavria, 1997. – 180 p.

9. Khmara L.A., Krol R.N. Theoretical study of the operating modes of the screw intensifier // International scientific and technical conference "Interstroytech - 2005": proceedings. Part 1. Tyumen: TyumGNGU. – 2005. – P. 262-266.

10. Polkovnikov Yu.F., Novikov V.S., Golev S.A. Bulldozer: US Pat. 2410496 Russian Federation. 2011. Bul. No. 3. – 5 p.

11. Kurilov E.V., Alekseev A.A. Bulldozer equipment: US Pat. 2352724 Russian Federation. 2009. Bul. No. 11. – 6 p.

12. Kurilov E.V., Alekseev A.A. Bulldozer equipment: US Pat. 2359087 Russian Federation. 2007. Bul. No. 17. – 5 p.

13. Kurilov E.V., Hague Ya.V., Borodulina M.A. The working body of the bulldozer: US Pat. 2459910 Russian Federation. 2012. Bul. No. 24. – 5 p.

14. Bjork J. Fire extinguishing composition, method of its preparation and method of fire extinguishing: US Pat. RU 2 414273 Russian Federation. 2009. Bul. No 31. – 2 p.

## EARTHMOVING - PNEUMATIC CONVEYING MACHINE FOR PROCESSING LIMESTONE-SHELL WASTE

Kovalyov A.A., Kutuzov V.V., Elkina I.I.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

**Abstract:** The design concept of a pneumomechanized earthmoving and transport machine for crushed limestone stone crushing waste, which is a combination of working bodies of pneumomechanical and bulldozer equipment, is proposed

Subject of research: the possibility of implementing a moldboard-pneumatic auger device in the design of the proposed earthmoving pneumatic transport machine (ZPTM).

**Materials and methods:** theoretical relationship of the main parameters of the pneumatic screw and bulldozer equipment of the ZPTM.

**Results:** In this work, the following parameters of ZPTM are considered: the thickness of the cut layer is  $h = 0.01 \dots 0.04$  m, the calculated speed of movement of the base machine is  $v = 0.25$  m / s, the width of the dozer blade is  $L = 4.25$  m, and also excess air pressure in the mixing chamber  $P_k = 0.11 \dots 0.18$  MPa, screw diameter  $D_{sh} = 0.18$  m; 0.2 m; 0.25 m and the rotational speed of the screw shaft of the pneumatic mechanical feeder  $\omega = 16.67$  rpm.

The dependence in the form of a power function of the cut depth of the loosened material (finely ground waste of stone crushing) on the pressure of compressed air in the mixing aerial chamber of the moldboard-pneumatic screw ZPTM has been established

Conclusions: a special role in the degree of nonlinearity of the dependence of the depth of cut of the material on the pressure of compressed air in the mixing aerial chamber is played by such a parameter as the diameter of the screw of the pneumo-mechanical feeder of the proposed ZPTM. The design feature of the moldboard-pneumatic screw ZPTM is that a rectangular loading opening is made in the center of the bulldozer blade. The resulting opening is connected by a special hopper with the receiving chamber of the pneumatic mechanical installation. The use of multi-section blades of bulldozers of increased efficiency with protruding front knives makes it possible to position the receiving chamber of the pneumatic mechanical installation in front of the center of the blade, and the mixing aerial chamber behind it. This solution allows not to violate the classic shape of the dozer blade due to the use of vertical side surfaces

**Key words:** bulldozer blade, pneumatic screw equipment, auger, waste of limestone-shell rock quarries.



УДК 624.014

## К ВОПРОСУ СТРОИТЕЛЬСТВА ВОДОНАПОРНЫХ БАШЕН РОЖНОВСКОГО В КРЫМУ

Синцов А.В., Данченко Н.В., Синцов В.П.

Академия строительства и архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»  
295493, Республика Крым, г. Симферополь, улица Киевская, 181  
E-mail: sin59@bk.ru

**Аннотация.** Актуальность. В 2014 году Украина перекрыла северо-крымский водный канал, в результате чего возник дефицит водоснабжения населённых пунктов Крыма. Реальная перспектива для Крыма в вопросе снабжения водой - снабжение водой за счет подземных источников по данным правительства Крыма. Для поддержания давления и запаса воды в поселковых сетях водоснабжения применяются стальные водонапорные башни Рожновского.

**Предмет исследования:** Известны случаи разрушения таких сооружений в результате сейсмического воздействия вследствие потери местной устойчивости стенки. В этой связи возникла необходимость проверки водонапорной башни по ТП 901-5-53с.93 на расчетные нагрузки с учетом 8-ми бальной сейсмики.

**Материалы и методы:** ПК ЛИРА САПР позволяет получить картину распределения напряжений в элементах листовых конструкций. Для исследования поведения элементов башни под нагрузкой разработана пространственная компьютерная модель, составленная из конечных элементов – оболочки. В результатах расчета по расчетным сочетаниям нагрузок определены максимальные напряжения в конечных элементах водонапорной башни от комплекса нагрузок.

**Результаты:** В результате расчета на статическое и динамическое воздействие от внешних нагрузок получены деформированные схемы водонапорной башни, произведена проверка напряжений в элементах оболочек башни, получены результаты проверки местной устойчивости элементов водонапорной башни при действии сейсмических нагрузках. Результаты расчета представлены в виде мозаик главных (меридиональных и кольцевых) напряжений в элементах водонапорной башни и расчетных формул для проверки местной устойчивости элементов башни по методике СП 16.131330.

**Выводы:** Результаты исследований показали, что для обеспечения местной устойчивости ствола башни в зоне стыка конической и цилиндрической оболочек башни требуется установка дополнительного кольцевого ребра ниже зоны стыка в стволе башни на расстоянии до 4-х радиусов цилиндрической оболочки от зоны стыка.

**Ключевые слова:** водонапорная башня, конечный элемент, меридиональные и кольцевые напряжения, местная устойчивость.

## ВВЕДЕНИЕ

В 2014 году, после присоединения Крыма к России, Украина, не признавшая произошедшую потерю территории, перекрыла канал, в результате чего дефицит водоснабжения населённых пунктов составил 260 млн м<sup>3</sup> в год. Все большее количество потребителей в Крыму стали переводить на внутренние источники питьевого и технического водоснабжения [1].

Реальная перспектива для Крыма в вопросе снабжения водой - снабжение водой за счет подземных источников по данным правительства Крыма [2].

Для поддержания давления в поселковых сетях и обеспечения определенного объема запасов воды для организации водоснабжения поселков применяются стальные водонапорные башни Рожновского.

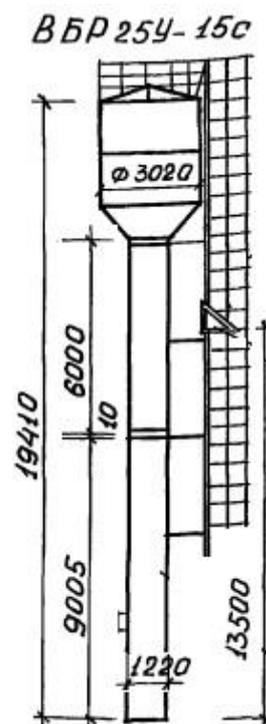


Рис. 1. Общий вид башни водонапорной Рожновского  
Fig. 1. General view of the water tower of Rozhnovsky

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Водонапорная башня состоит из бака (резервуара) для воды, цилиндрической формы, и опорной конструкции (ствола). Регулирующая роль водонапорной башни заключается в том, что в часы уменьшения водопотребления избыток воды, подаваемой насосной станцией, накапливается в водонапорной башне и расходуется из неё в часы увеличенного водопотребления [7,8].

Учитывая, что большая часть территорий Крыма являются сейсмоопасными, то в таких случаях необходимо строить сейсмостойкие сооружения.

Существуют типовые решения сейсмостойких водонапорных башен Рожновского, которые были разработаны в Советском Союзе [5,9]. Однако известны случаи разрушения таких сооружений в результате сейсмического воздействия вследствие потери местной устойчивости стенки [3,4,6].



**Рис. 2.** Обрушение башни Рожновского вследствие потери местной устойчивости стенки

**Fig. 2.** Collapse of the Rozhnovsky tower due to the loss of local stability of the wall

В этой связи возникла необходимость проверки металлических конструкций водонапорной башни по ТП 901-5-53.С.93г [10] на расчетные нагрузки с учетом 8-ми бальной сеймики с использованием рекомендуемого для этих целей ПК ЛИРА САПР [11,12].

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

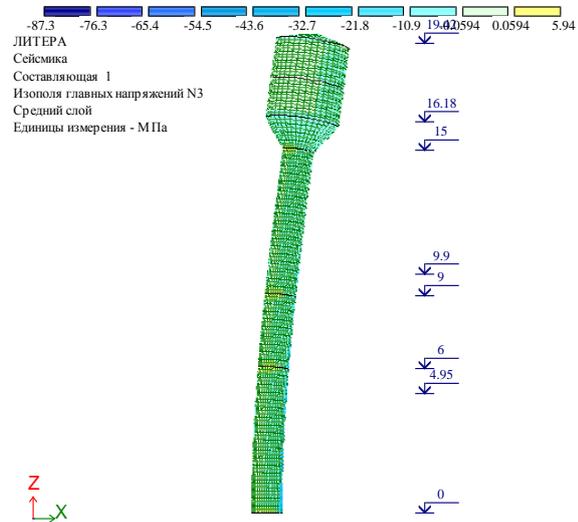
Проверка устойчивости элементов оболочек водонапорной башни проводилась по методике СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции», приведенной в разделе 11 «Расчет листовых конструкций» подраздел 2 «Расчет устойчивости».

Для исследования поведения элементов башни под нагрузкой была разработана пространственная компьютерная модель, составленная из конечных элементов - оболочки.

В результате расчета по расчетным сочетаниям нагрузок (РСН) определены максимальные

напряжения в конечных элементах водонапорной башни от комплекса нагрузок.

ПК ЛИРА САПР позволяет получить картину распределения напряжений в элементах листовых конструкций, каким и является башня Рожновского.



**Рис.3.** Главные меридиональные напряжения в элементах башни от сейсмического воздействия

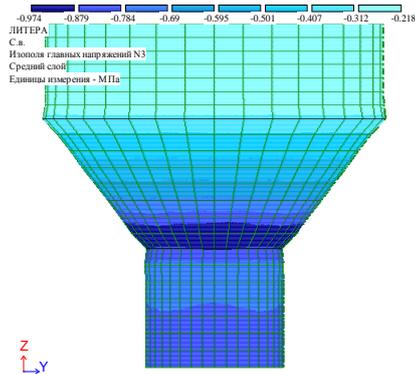
**Fig. 3.** Main meridional stresses in tower elements from seismic impact

Вычисление напряжений по РСН производится непосредственным суммированием соответствующих перемещений узлов и напряжений в элементах по правилам, установленным нормативными документами (в отличие от вычисления РСУ, где в качестве критерия для определения опасных сочетаний используются экстремальные значения напряжений в характерных точках сечений элементов).

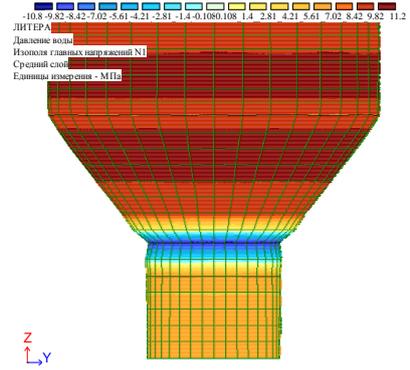
В результате расчета на статические и динамические воздействия от внешних нагрузок получены:

- деформированные схемы водонапорной башни;
- произведена проверка напряжений в элементах оболочек башни;
- получены результаты расчета по РСН для проверки местной устойчивости элементов оболочек водонапорной башни при действии динамических (сейсмических) нагрузок.

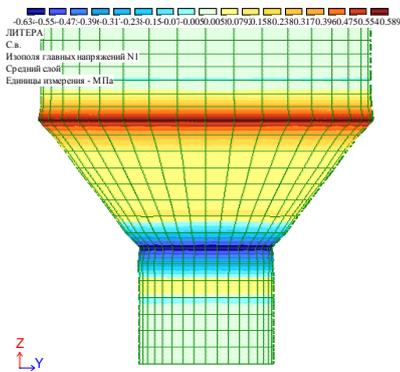
Результаты расчета представлены в виде мозаик главных (меридиональных и кольцевых) напряжений в элементах оболочек водонапорной башни от действия внешних нагрузок и собственного веса элементов башни показывающих уровень напряжений, которые не превышают расчетных сопротивлений стали принятой для элементов башни, а также в виде расчетных формул и таблиц по методике СП при расчете устойчивости элементов башни.



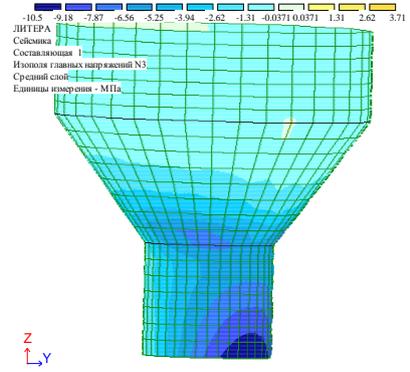
**Рис. 4.** Главные меридиональные напряжения в элементах в зоне перегиба от собственного веса  
**Fig. 4.** The main meridional stresses in the elements in the inflection zone from their own weight



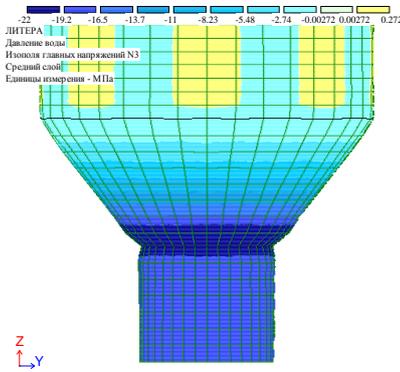
**Рис. 7.** Главные кольцевые напряжения в элементах башни в зоне перегиба от давления воды  
**Fig. 7.** Main hoop stresses in tower elements in the bend zone due to water pressure



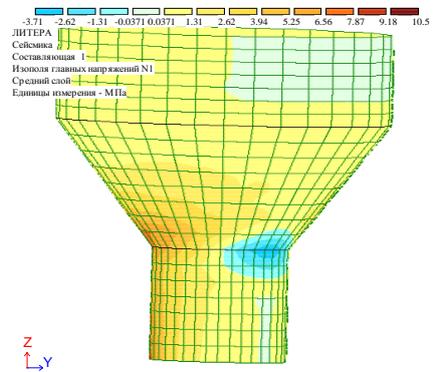
**Рис. 5.** Главные кольцевые напряжения в элементах башни в зоне перегиба от собственного веса  
**Fig. 5.** The main hoop stresses in the tower elements in the bend zone due to their own weight



**Рис. 8.** Главные меридиональные напряжения в элементах башни в зоне перегиба от сейсмического воздействия  
**Fig. 8.** The main meridional stresses in the elements of the tower in the bend zone from seismic action



**Рис. 6.** Главные меридиональные напряжения в элементах башни в зоне перегиба от давления воды  
**Fig. 6.** The main meridional stresses in the tower elements in the inflection zone due to water pressure



**Рис. 9.** Главные кольцевые напряжения в элементах башни в зоне перегиба от сейсмического воздействия  
**Fig. 9.** Main hoop stresses in tower elements in the bend zone from seismic action

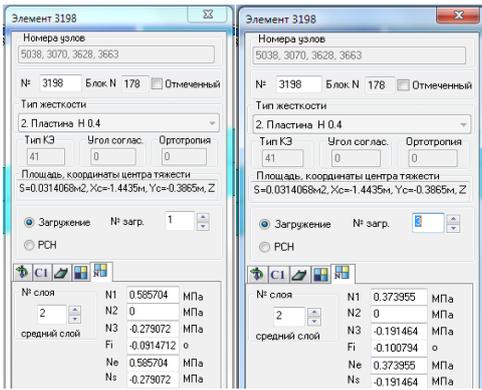


Рис. 10. Максимальные главные меридиональные и кольцевые напряжения в элементе № 3198 верхнего цилиндрического бака башни

Fig. 10. Maximum main meridional and hoop stresses in element No. 3198 of the upper cylindrical tank of the tower

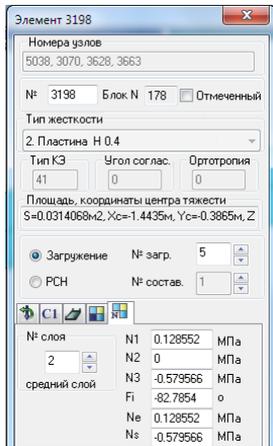


Рис. 11. Максимальные главные меридиональные и кольцевые напряжения в элементе № 3198 верхнего цилиндрического бака башни

Fig. 11. Maximum main meridional and hoop stresses in element No. 3198 of the upper cylindrical tank of the tower

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

### Расчет на устойчивость нижнего контура верхней части резервуара в месте стыка с конусной частью.

Расчет на устойчивость замкнутых круговых цилиндрических оболочек вращения, равномерно сжатых параллельно образующим, следует выполнять по формуле

Расчет на устойчивость замкнутых круговых цилиндрических оболочек вращения, равномерно сжатых параллельно образующим, следует выполнять по формуле

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr,1} \gamma_c} \leq 1 \quad (1)$$

где  $\sigma_1 = 0,279+0,58+0,191= 1.05$  МПа расчетное сжимающие меридиональные напряжение в оболочке;

$\sigma_{cr,1}$  – критическое напряжение, равное меньшему из значений

$$\psi R_y = 0.453 \cdot 245 = 110.88 \text{ МПа или } cEt / r = 0,145 \cdot 206000 \cdot 4 / 1500 = 79,65 \text{ МПа} \quad (6.1.a.)$$

принимая  $\sigma_{cr,1} = 79,65$  МПа – критическое напряжение

здесь  $r = 1500$  мм – радиус срединной поверхности оболочки;

$t = 4$  мм – толщина оболочки),

при  $r / t = 1500/4=375 \leq 300$ ;

при  $r / t > 300 \quad \sigma_{cr,1} = c \times E \times t / r.$

Значения коэффициентов  $\psi$  при  $0 < r / t \leq 300$  следует определять по формуле

$$\psi = 0,97 - \left( 0,00025 + 0,95 \frac{R_y}{E} \right) \frac{r}{t} = 0,4 \quad (2)$$

Значения коэффициента  $c$  следует определять по таблице 1.

Таблица 1.  
Table 1.

$r / t$	100	200	300	400	600	800	1000	1500	2500
$c$	0,22	0,18	0,16	0,14	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06

В случае внецентренного сжатия параллельно образующим или чистого изгиба в диаметральной плоскости при касательных напряжениях в месте наибольшего момента, не превышающих значения  $0,07E(r/t)^{3/2}$ , напряжение  $\sigma_{cr,1}$  должно быть увеличено в  $(1,1 - 0,1\sigma'_1/\sigma_1)$  раза, где  $\sigma'_1$  – наименьшее напряжение (растягивающие напряжения считать отрицательными).

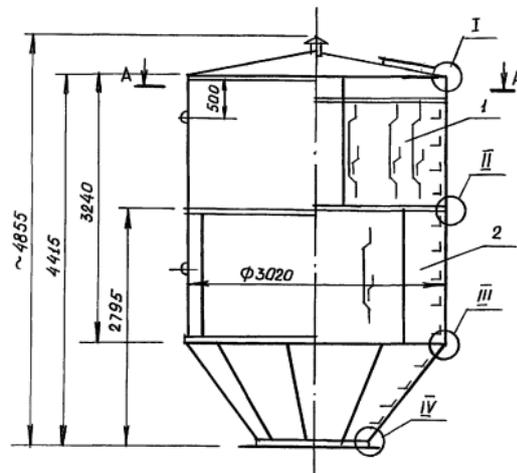


Рис. 12. Общий вид бака 25м³ башни Рожновского  
Fig. 12. General view of the 25m³ tank of the Rozhnovsky tower

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr,1} \gamma_c} = 1,05/79,65/1,0 = 0,0132 < 1 \quad (4)$$

Устойчивость нижнего контура верхней цилиндрической части резервуара в месте стыка с конусной частью обеспечена.

**Расчет на устойчивость конусной части**

Расчет на устойчивость конической оболочки вращения с углом конусности  $\beta \leq 60^\circ$ , сжатой силой  $N$  вдоль оси (рис. 12), следует выполнять по формуле

$$\frac{N}{N_{cr} \gamma_c} = 0,52/1766 = 0,0004 < 1, \quad (5)$$

где  $N_{cr}$  – критическая сила, определяемая по формуле

$$N_{cr} = 6,38 t \sigma_{cr,1} r_m \cos^2 \beta = 1766 \text{ кН}, \quad (6)$$

здесь  $t = 4 \text{ мм}$  – толщина оболочки;

$\sigma_{cr,1}$  – значение напряжения, вычисленное согласно формулы 6 с заменой радиуса  $r$  радиусом  $r_m$ , равным

$$r_m = \frac{0,9 r_2 + 0,1 r_1}{\cos \beta} = \quad (7)$$

$$(0,9 \cdot 1500 + 0,1 \cdot 610) / \cos 37,024^\circ = 1767 \text{ мм}.$$

$r_2 = 1500 \text{ мм}$  – больший радиус;

$r_1 = 610 \text{ мм}$  – меньший радиус.

$\beta = 37,024^\circ$  – угол наклона конуса к вертикали,  $\cos 37,024^\circ = 0,7984$ .

$\sigma_{cr,1} = cEt / r = 0,13385 \cdot 206000 \cdot 4 / 1767 = 62,42 \text{ МПа}$  – критическое напряжение,

здесь  $r_m = 1767 \text{ мм}$  – радиус срединной поверхности оболочки;

$t = 4 \text{ мм}$  – толщина оболочки) при  $r/t = 1767/4 = 441 > 300$ ;  $c = 0,13385$ .

Наиболее напряженное сечение в конусной оболочке – нижнее, к которому примыкает цилиндрическая нижняя опора радиусом 610 мм. Для расчетов устойчивости рассматриваем элемент № 2961.

В таблице 2:

$N_x$  – кольцевые напряжения в Па, соответствуют  $\sigma_2$ ,

$N_y$  – меридиональные напряжения в Па соответствуют  $\sigma_1$ .

Для дальнейших расчетов принимаем сочетание № 3:

$$\sigma_2 = 9,722 \text{ МПа}, \sigma_1 = 26 \text{ МПа}.$$

Тогда, продольную сжимающую силу в элементе определим по формуле

$$N = \sigma_1 / A = 26 / 10 / 0,4 / 12,7 = 0,52 \text{ кН}.$$

Расчет на устойчивость конической оболочки вращения при действии внешнего равномерного давления  $p$ , нормального к боковой поверхности, следует выполнять по формуле

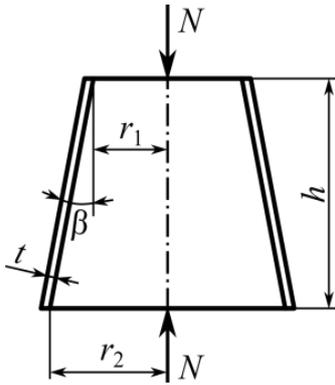
$$\frac{\sigma_2}{\sigma_{cr,2} \gamma_c} \leq 1, \quad (7)$$

здесь  $\sigma_2 = 9,722 \text{ МПа}$  – расчетное кольцевое напряжение в оболочке;

**Таблица 2.** Комбинации расчетных напряжений в элементе № 2961

**Table 2.** Combinations of design stresses in element No. 2961

Башня основная схема	
НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕМЕНТАХ	
44	2921-1
	2890
	2902
1 (I)	1
NX	-8764.2
NY	-26754.
TXY	243.97
MX	.00152
MY	.00766
MXY	-.00003
QX	-.00858
QY	-.38362
2 (I)	2
NX	-6852.7
NY	-21105.
TXY	116.80
MX	.00124
MY	.00611
MXY	-.00000
QX	-.00672
QY	-.30352
3 (I)	3
NX	-9722.8
NY	-26000.
TXY	7043.6
MX	.00206
MY	.00882
MXY	.00090
QX	-.00959
QY	-.41350



**Рис. 13.** Схема конической оболочки вращения под действием продольного усилия сжатия  
**Fig. 13.** Scheme of a conical shell of revolution under the action of a longitudinal compression force

$\sigma_{cr,2}$  – критическое напряжение, определяемое по формуле

$$\sigma_{cr,2} = 0,55E \left( \frac{r_m}{h} \right) \left( \frac{t}{r_m} \right)^{3/2} = 18,27 \text{ МПа}, \quad (8)$$

где  $r_m = 1767$  мм – радиус, определяемый по формуле 6.5;  
 $h = 118$  см – высота конической оболочки (между основаниями).

Расчет на устойчивость конической оболочки вращения, подверженной одновременному действию нагрузок, сжатой силой  $N$  вдоль оси (рис. 6.15) и внешнего равномерного давления  $p$ , следует выполнять по формуле

$$\left( \frac{N}{N_{cr}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr,2}} \right) / \gamma_c = 0,53 < 1 \quad (9)$$

где значения  $N_{cr}$  и  $\sigma_{cr,2}$  следует вычислять по формулам 6 и 9.

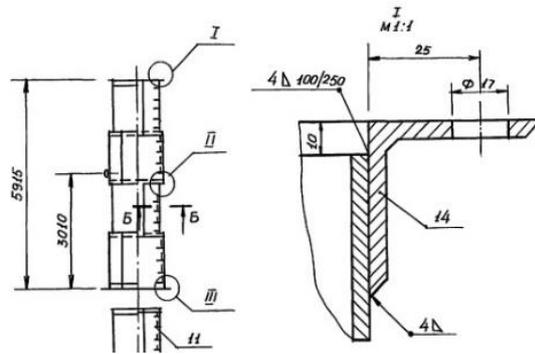
Таким образом, устойчивость конической оболочки вращения обеспечена.

**Расчет на устойчивость нижней цилиндрической опоры**

Сжимающие напряжения возникают на границе сопряжения конической части и нижней цилиндрической опоры

Наиболее напряженное сечение расположено на расстоянии 20...30 мм от границы контакта. В данном месте располагается укрупнительное кольцо из равнополочного уголка 50×5. Таким образом, общая толщина оболочки в наиболее напряженной зоне составляет  $5 + 5 = 10$  мм.

Для проверки устойчивости оболочки рассматриваем элемент оболочки № 16, для которого рассчитаем расчетные сочетания нагрузок для определения максимальных сжимающих меридиональных и кольцевых напряжений.



**Рис. 14.** Узел сопряжения конической и цилиндрической оболочек водонапорной башни  
**Fig. 14.** Node of conjugation of the conical and cylindrical shells of the water tower

Для расчета на устойчивость замкнутых круговых цилиндрических оболочек вращения выполняем определения критических напряжений:

Меридиональных:  $\sigma_{cr,1}$  – критическое напряжение, равное меньшему из значений  $\psi R_y = 0,886 * 245 = 217$  МПа;

или  $cEt / r = 0,22 * 206000 * 10/610 = 742$  МПа;

принимаем  $\sigma_{cr,1} = 217$  МПа – критическое напряжение;

здесь  $r = 610$  мм – радиус срединной поверхности оболочки;

$t = 10$  мм – толщина оболочки в пределах максимальных сжимающих напряжений.

при  $r / t = 610/10 = 61 \leq 300$ ;

при  $r / t > 300$   $\sigma_{cr,1} = cEt / r$ .

Значения коэффициентов  $\psi$  при  $0 < r / t \leq 300$  следует определять по формуле

$$\psi = 0,97 - \left( 0,00025 + 0,95 \frac{R_y}{E} \right) \frac{r}{t} = 0,88 \quad (10)$$

Значения коэффициента  $c$  следует определять по таблице

Кольцевые критические напряжения:

$$\sigma_{cr,2} = 0,55E \left( \frac{r}{h} \right) \left( \frac{t}{r} \right)^{3/2} = 24,54 \text{ МПа}, \quad (11)$$

где  $r = 610$  мм – радиус цилиндрической оболочки;

$h = 5915$  мм – высота цилиндрической оболочки до первого кольцевого ребра, которое является также и укрупнительным ребром.

В таблице 3:

$N_x$  – кольцевые напряжения в Па, соответствуют  $\sigma_2$ ,

$N_y$  – меридиональные напряжения в Па соответствуют  $\sigma_1$ .

Для дальнейших расчетов принимаем сочетание № 3:

$$\sigma_2 = -16,166 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_1 = -20,451 \text{ МПа.}$$

Расчет на устойчивость цилиндрической оболочки до первого кольцевого ребра, подверженной одновременному действию нагрузок (меридиональных и кольцевых) выполняем по формуле

$$\left( \frac{\sigma_1}{\sigma_{cr,1}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr,2}} \right) / \gamma_c = (20,451/217 + 16,166/24,54) = 0.753 \cdot \quad (12)$$

Таким образом, устойчивость цилиндрической оболочки вращения в зоне действия максимальных сжимающих меридиональных и кольцевых напряжений (зона контакта конической и цилиндрической оболочек) обеспечена.

**Таблица 3.** Комбинации расчетных напряжений в элементе № 16

**Table 3.** Combinations of design stresses in element No. 16

	44	16-1
		22
		23
-----		
	1 (I) -	1
	NX	-15237.
	NY	-19979.
	TXY	-554.89
	MX	.00184
	MY	.01065
	MXY	-.00039
	QX	.00204
	QY	.85126
	2 (I) -	2
	NX	-11960.
	NY	-15731.
	TXY	-308.24
	MX	.00147
	MY	.00848
	MXY	-.00022
	QX	.00119
	QY	.67360
	3 (I) -	3
	NX	-16166.
	NY	-20451.
	TXY	-3366.6
	MX	.00184
	MY	.01032
	MXY	.00117
	QX	-.00444
	QY	.84171
-----		

В случае, если в расчете не учитывается толщина укрупнительного кольца из равнополочного уголка 50\*5, толщина оболочки в наиболее напряженной зоне составляет 5 мм.

Тогда проверка на устойчивость цилиндрической оболочки до первого кольцевого

ребра, подверженной одновременному действию нагрузок (меридиональных и кольцевых) выполняем по формуле

$$\left( \frac{\sigma_1}{\sigma_{cr,1}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr,2}} \right) / \gamma_c = (20,451/217 + 16,166/8,67) = 1,95 \geq \quad (13)$$

Где кольцевые критические напряжения:

$$\sigma_{cr,2} = 0,55E \left( \frac{r}{h} \right) \left( \frac{t}{r} \right)^{3/2} = 8,67 \text{ МПа,} \quad (14)$$

Таким образом, устойчивость цилиндрической оболочки вращения в зоне действия максимальных сжимающих меридиональных и кольцевых напряжений (зона контакта конической и цилиндрической оболочек) не обеспечена. Требуется дополнительные конструктивные мероприятия в виде кольцевого ребра на расстоянии не более  $4 \cdot r = 2440$  мм – 4-х радиусов цилиндрической оболочки:

$$\left( \frac{\sigma_1}{\sigma_{cr,1}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr,2}} \right) / \gamma_c = (20,451/217 + 16,166/21,02) = 0,863 \cdot \quad (15)$$

Где кольцевые критические напряжения:

$$\sigma_{cr,2} = 0,55E \left( \frac{r}{h} \right) \left( \frac{t}{r} \right)^{3/2} = 21,02 \text{ МПа,} \quad (16)$$

Таким образом, устойчивость цилиндрической оболочки вращения в зоне действия максимальных сжимающих меридиональных и кольцевых напряжений обеспечена при установке дополнительного кольцевого ребра ниже зоны контакта конической и цилиндрической оболочек на расстоянии до 4-х радиусов цилиндрической оболочки.

#### Расчет на прочность опорной части нижней цилиндрической части резервуара.

Расчет на прочность опорной части нижней цилиндрической части резервуара, подверженной одновременному действию нагрузок (меридиональных и кольцевых) выполняем в наиболее нагруженном сечении в зоне контакта с днищем.

В качестве наиболее напряженного элемента рассматриваем элемент № 4675, для которого рассчитываем комбинации расчетных напряжений в данном элементе, которые представлены в таблице 4.

В таблице 4:

N1 – главные кольцевые напряжения в МПа, соответствуют  $\sigma_2$ ,

N3 – главные меридиональные напряжения в МПа соответствуют  $\sigma_1$

FI - касательные напряжения в МПа, соответствуют  $T_{xy}$

Для дальнейших расчетов принимаем сочетание № 3 средний слой для стали ВСтЗсп:

$$\sigma_2 = +21,87 \text{ МПа} < R_y = 245 \text{ МПа}$$

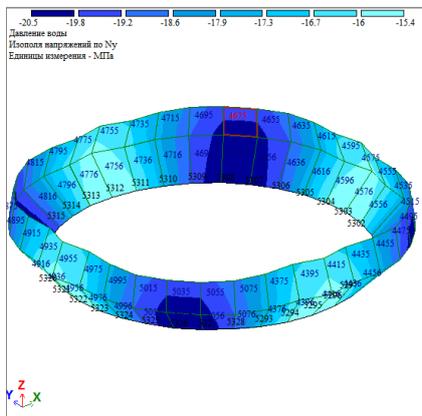
$$\sigma_1 = -105,05 \text{ МПа} < R_y = 245 \text{ МПа}$$

$$T_{xy} = -1,55 \text{ МПа} < R_s = 142 \text{ МПа.}$$

**Таблица 4.** Комбинации расчетных напряжений в элементе № 4675

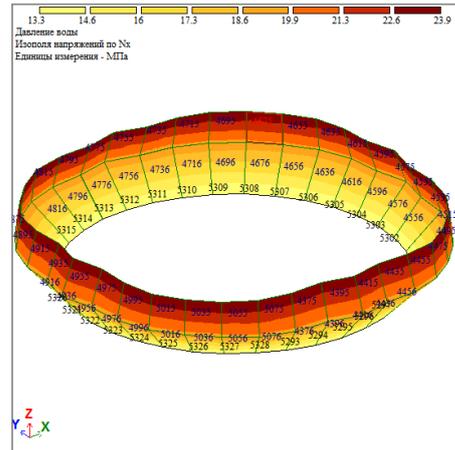
**Table 4.** Combinations of design stresses in element № 4675

башня основная схема				
ГЛАВНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕМЕНТАХ				
44_	4675-1I	4675-1M	4675-1	
	4609	4609	4609	
	4628	4628	4628	
-----				
1 (I) -				
N1	26.43325	25.88318	25.33312	
N3	-30.58281	-32.49376	-34.40471	
FI	-.248245	-.249098	-.249907	
NE01	26.43325	25.88318	25.33312	
NS01	-30.58281	-32.49376	-34.40471	
2 (I) -				
N1	21.10707	20.66707	20.22707	
N3	-22.05150	-23.59908	-25.14665	
FI	-.181969	-.182886	-.182807	
NE01	21.10707	20.66707	20.22707	
NS01	-22.05150	-23.59908	-25.14665	
3 (I) -				
N1	22.13447	21.86696	21.59956	
N3	-104.0913	-105.0485	-106.0059	
FI	-1.513899	-1.548328	-1.582465	
NE01	22.13447	21.86696	21.59956	
NS01	-104.0913	-105.0485	-106.0059	



**Рис. 15.** Мозаики меридиональных напряжений опорной части нижней цилиндрической части резервуара от давления воды

**Fig. 15.** Mosaics of meridional stresses of the supporting part of the lower cylindrical part of the tank from water pressure



**Рис. 16.** Мозаики кольцевых напряжений опорной части нижней цилиндрической части резервуара от давления воды

**Fig. 16.** Mosaics of hoop stresses of the supporting part of the lower cylindrical part of the tank from water pressure

### ВЫВОДЫ:

Результаты исследований показали, что использование конструкций металлической башни Ражновского, выполненной по ТП 901-5-53.С.93г. возможно на территории Крыма в районах с 8-ми бальной расчетной сейсмикой.

Однако для обеспечения местной устойчивости цилиндрической оболочки вращения (ствола башни) в зоне действия максимальных сжимающих меридиональных и кольцевых напряжений требуется установка дополнительного кольцевого ребра ниже зоны контакта конической и цилиндрической оболочек на расстоянии от зоны контакта до 4-х радиусов цилиндрической оболочки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Как Крым обеспечат водой. <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2020/10/20/843978-krim-obespechat>.
2. В Крыму сравнили эффективность бурения скважин и опреснительные установки. <https://iz.ru/1101386/2020-12-17/v-krymu-sravnili-effektivnost-burenii-a-skvazhin-i-opresnitelnye-ustanovki>.
3. Скачков С.В., Щуцкий С.В. Расчет стенки водонапорной башни в виде цилиндрического резервуара на прочность и устойчивость// Инженерный вестник Дона, 2017. № 4 (47). С. 202-208.
4. Скачков С.В., Щуцкий С.В. Определение напряжений в цилиндрической стенке стальной водонапорной башни// Строительство и архитектура: сб. науч. тр. "Донской государственный технический университет", АСиА, 2017. С. 140-144.
5. Гарькин И.Н., Карташова Я.С. Обследование конструкций стальных водонапорных башен// Аллея науки. – 2017. – Т.2. – № 9. – С. 454-457.

6. Скачков С.В., Щуцкий С.В. Определение напряжений в цилиндрической стенке стальной водонапорной башни// Актуальные проблемы науки и техники. – 2019. – С. 430-431.

7. Лессинг Е. Н., Лилеев А. Ф., Соколов А. Г. Листовые металлические конструкции. – М.: Стройиздат, 1970. – 488 с.

8. Металлические конструкции. Конструкции зданий. Т.2 / ред. В. В. Горев. – М.: изд. Высшая школа. 1999. – 385 с.

9. Лихтарников Я.М., Ладыженский Д.В., Клык В.М. Расчет стальных конструкций. – К.: Будівельник, 1984. – 368 с.

10. Металлические конструкции. В 3 т. Т.3. Стальные сооружения / ред. В.В. Кузнецов. М.: изд. АСВ, 1999. – 528 с.

11. Казакевич М.И. Актуальные заметки по аэродинамике зданий и сооружений. – Дн-ск: Акцент, 2011. – 184 с.

12. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. – К.: Факт, 2005. – 344 с.

3. Calculation of the wall of a water tower in the form of a cylindrical tank for strength and stability. S.V. Skachkov, S.V. Shchutskiy Engineering Bulletin of the Don. – 2017. – No. 4 (47). – P. 202.

4. Determination of stresses in the cylindrical wall of a steel water tower. S.V. Skachkov, S.V. Shchutskiy In the collection: Building and architecture-2017. FSBEI HE "Don State Technical University", ASiA. – 2017. – P. 140-144.

5. Inspection of steel water tower structures. Garkin I.N., Kartashova Ya.S. Alley of Science. – 2017. – Vol. 2. – No9. – P. 454-457.

6. Determination of stresses in the cylindrical wall of a steel water tower. Skachkov S.V., Shchutskiy S.V. In the book: Actual problems of science and technology. – 2019. – P. 430-431.

7. Lessing EN, Lileev AF, Sokolov AG Sheet metal structures. M.: Sroyizdat, 1970. – 488 p.

8. Metal structures. Building structures. T.2 / ed. V.V. Gorev. – M.: High school, 1999. – 385 p.

9. Likhtarnikov Ya.M., Ladyzhensky DV, Klykov V.M. Calculation of steel structures. – K.: Budivel'nik, 1984. – 368 p.

10. Metal structures. In 3 volumes. Vol. 3. Steel structures / ed. V.V. Kuznetsov. – M.: ed. ASV, 1999. – 528 p.

11. Kazakevich M.I. Actual notes on the aerodynamics of buildings and structures. – Dn-sk: Accent, 2011. – 184 p.

12. Gorodetsky A.S., Evzerov I.D. Computer models of structures. – K.: Fact, 2005. – 344 p.

## REFERENCES

1. How the Crimea will be provided with water. <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2020/10/20/843978-krim-obespechat>.

2. In Crimea, the efficiency of drilling wells and desalination plants was compared. <https://iz.ru/1101386/2020-12-17/v-krymu-sravnili-effektivnost-bureniia-skvazhin-i-opresnitelnye-ustanovki>.

## TO THE QUESTION OF CONSTRUCTION OF WATER TOWER ROZHNOVSKY IN THE CRIMEA

Sintsov A.V., Danchenko N.V., Sintsov V.P.

Academy of Civil Engineering and Architecture, V.I. Vernadsky Crimean Federal University,  
address: Simferopol, st. Kievskaya, 181,  
E-mail: sin59@bk.ru

**Abstract.** Relevance. In 2014, Ukraine closed the North Crimean water canal, resulting in a shortage of water supply to the Crimean settlements. The real prospect for Crimea in terms of water supply is water supply from underground sources according to the government of Crimea. To maintain the pressure and water supply in the village water supply networks, Rozhnovsky steel water towers are used.

**Subject of research:** There are known cases of destruction of such structures as a result of seismic impact due to the loss of local stability of the wall. In this regard, it became necessary to check the water tower according to TP 901-5-53c.93 for design loads, taking into account 8-point seismicity.

**Materials and methods:** SP LIRA SAPR allows obtaining a picture of stress distribution in elements of sheet structures. To study the behavior of tower elements under load, a spatial computer model has been developed, composed of finite elements - shells. In the results of the calculation based on the calculated combinations of loads, the maximum stresses in the finite elements of the water tower from the complex of loads are determined.

**Results:** As a result of the calculation for the static and dynamic effects from external loads, deformed water tower schemes were obtained, the stresses in the elements of the tower shells were checked, the results of checking the local stability of the water tower elements under the action of seismic loads were obtained. The calculation results are presented in the form of mosaics of the main (meridional and ring) stresses in the elements of the water tower and calculation formulas for checking the local stability of the tower elements according to the method of SP 16.131330.

**Conclusions:** Research results have shown that to ensure local stability of the tower barrel in the junction zone of the conical and cylindrical shells of the tower, it is necessary to install an additional annular rib below the junction zone in the tower barrel at a distance of up to 4 radii of the cylindrical shell from the junction zone.

**Key words:** water tower, finite element, meridional and hoop stresses, local stability.



## **Раздел 3. Инженерное обеспечение**

УДК: 621.311.25:532.59 DOI: 10.37279/2413-1873-2021-21-91-96

### КОЛЕБАНИЕ ПОПЛАВКА ЭНЕРГОАГРЕГАТА НА ПОВЕРХНОСТИ ВОЛН

Бекиров Э. А.<sup>1</sup>, Каркач Д. В.<sup>2</sup> Мургазаев Э. Р.<sup>3</sup>

Физико-технический институт КФУ им. В. И. Вернадского,  
295007, Республика Крым, г. Симферополь, просп. Академика Вернадского, д. 4.  
E-mail: <sup>1</sup>bekirov.e.a@cfuv.ru, <sup>2</sup>karkach.d.v@cfuv.ru, <sup>3</sup>ennan\_sam@mail.ru

**Аннотация.** Одной из актуальных задач использования ВИЭ является использование энергоагрегата для преобразования энергии морских волн в электрическую энергию. Важным элементом процесса проектирования волновой электростанции является проведение математического моделирования ее работы при различных условиях ее работы для определения выходной мощности и проведения технико-экономического анализа. В основе процесса преобразования энергии морских волн в электрическую энергию для предложенного типа волновой электростанции лежат вынужденные вертикальные колебания поплавка энергоагрегата, вызванные морским волнением. Математическая модель поведения поплавка, соединенного с генератором, основывается на интегро-дифференциальном уравнении вынужденных колебаний и дает возможность определить динамику его колебаний и сделать вывод о мощности, снимаемой с подключенного к поплавку генератора. В статье приводятся расчеты динамики поплавка, соединенного с генератором, уравнение волны, интегро-дифференциальное уравнение колебаний поплавка, проведено моделирование набегающей волны и поплавкового энергоагрегата. Данные о длине, периоде и высоте волн в Черном море у побережья Крыма использованы по данным официальных прогнозов и наблюдений.

**Ключевые слова:** поплавок; длина волны; скорость волны; высота волны; вынужденные колебания поплавка.

#### ВВЕДЕНИЕ

Потребление электроэнергии во многих странах растет с каждым годом и ввиду обеспечения экологической безопасности всех стран актуальным является использование энергоагрегатов возобновляемой энергетики. Одним из перспективных энергоагрегатов являются энергоагрегаты преобразования энергии морских волн в электрическую энергию. Потенциал энергии морских волн очень высок и по оценкам, приводимым в источниках может составлять до 146 ТВт·ч/год [1].

Математическое описание движения поплавка энергоагрегата на поверхности моря при различных параметрах морских волн представляет собой сложный процесс, связанный с взаимодействием образующего волны ветра с поверхностью воды, изменением периодичности, скорости и амплитуды волны, движением волны не в одной плоскости, не по синусоидальному закону и не по трохойде. Изменение частоты и фазы волн может привести к модулированным волнам, параметры которых могут значительно отличаться. Такие выводы сделаны на основании данных о батиметрии Крыма скорости и направлении ветра и морских волн. Можно проанализировать эффективность применения данного вида возобновляемых источников энергии и сравнить с другими вариантами [2].

#### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

На настоящий момент существуют различные методы и устройства для преобразования энергии морских волн [3-11]. Одним из таких методов является использование поплавков – элементов,

совершающих колебательные движения в вертикальном или горизонтальном направлении в зависимости от конструкции. Различают конструкции, когда применяются поплавки в виде уток Солтера, волнового плота Коккереля. Существует разновидность устройств, в которых для генерации электроэнергии используется движение воды, перемещающейся внутри камеры. Часто применяются турбины Уэллса [14].

Метод получения электроэнергии характерен для электростанций с осциллирующим водяным столбом [12] и пульсирующим водяным столбом Массуды. В различных исследованиях предлагаются варианты размещения [13] и конструкции [14] турбин Уэллса для увеличения эффективности их работы [15].

Для устройств преобразования энергии морских волн, необходимо провести оценку технического потенциала и экономической целесообразности сооружения [16-19]. При оценивании эффективности работы энергоагрегата учитываются параметры поплавка и исходные данные, так аппроксимации численной волновой модели [20].

Акуленко и Байдулов в [21] рассмотрели характеристики динамики поплавка эллиптической формы с помощью интегро-дифференциального уравнения для случая колебаний на границе двух несжимаемых жидкостей и определили характеристики затухания и изменения частоты.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью исследования является анализ динамики поплавка, соединенного с генератором, составленного дифференциального уравнения

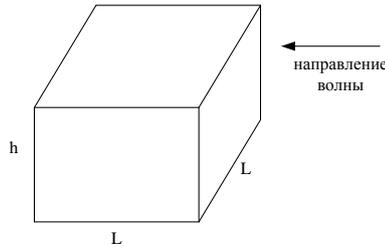
вынужденных колебаний поплавок и моделирование работы энергоагрегата при различных параметрах морских волн. На основе полученных результатов можно делать выводы по использованию конструкций энергоагрегатов.

Проведем анализ колебаний поплавок, соединенного с генератором. Примем, что поплавок имеет форму куба с длиной и шириной, равной  $L$  и высотой  $h$  (рис.1). За исходные данные возьмем  $L = 1\text{ м}$ ,  $h = 1\text{ м}$ . Приняв, что поплавок в виде полого куба изготовлен из листовой стали с толщиной стенок,

равной 5 мм получим массу 234 кг. Глубина погружения в спокойной воде определяется равенством сил тяжести и Архимеда и определяется по формуле

$$a = \frac{m}{\rho L^2}, \quad (1)$$

Которая после подстановки данных дает  $a=0,234\text{ м}$ .



**Рис.1.** Геометрия поплавок  
**Fig. 1.** Float geometry

Высота центра поплавок  $y_0$  над уровнем спокойной воды  $y_0 = \frac{h}{2} - a = 0.266\text{ м}$

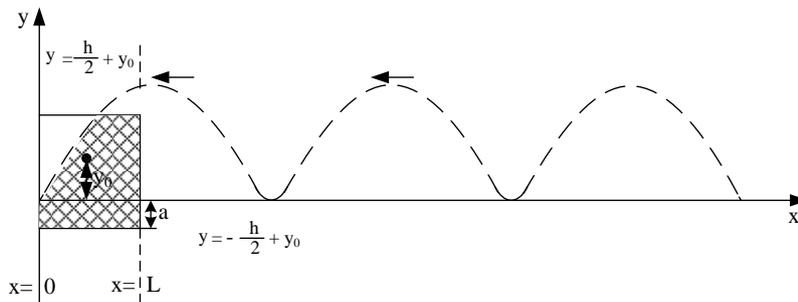
Для целей численного моделирования принимаем параметры всех морских волн одинаковыми и равными: длина волны  $\lambda = 20\text{ м}$ , скорость волны  $\mathcal{G} = 4\text{ м/с}$ , амплитуда волны (высота)  $H=1\text{ м}$ , период волны тогда составит  $T = \frac{\lambda}{\mathcal{G}} = 5\text{ с}$ .

Профиль волны считаем синусоидальным, соответствующее уравнение будет иметь вид:

$$y_e(x,t) = H \left| \sin \left( \omega \left( t + \frac{x}{\mathcal{G}} \right) \right) \right|, \quad (2)$$

где  $y_e$  – высота волны в точке с координатой  $x$ .

На поплавок, погруженный в воду, при набегающей волне действует переменная сила Архимеда. На рисунке 2 показан поплавок, погруженный в воду и находящийся под действием волн. Набегающая волна закрывает часть боковой поверхности поплавок, показанную на рисунке 2 штриховкой.



**Рис.2.** Поплавок, находящийся под воздействием набегающих морских волн  
**Fig. 2.** Float under the influence of incoming sea waves

Произведем расчет переменной силы Архимеда, действующей на поплавок. Расчет высоты  $l(x)$  боковой части поверхности поплавок, находящейся под водой, проводится через кусочно-заданную функцию:

$$l(x,y,t) = \begin{cases} y_e(x,t) + \frac{h}{2} - y, & \text{при } \frac{h}{2} + y \geq y_e(x,t) \\ h, & \text{при } \frac{h}{2} + y < y_e(x,t) \end{cases}, \quad (3)$$

где  $y$  – координата центра масс поплавок.

Площадь боковой поверхности поплавок, погруженной в воду, определяется по формуле:

$$S(y,t) = \int_0^L l(x,y,t) dx. \quad (4)$$

Объем части поплавок, погруженной в воду

$$V_{II}(y,t) = S(y,t) \cdot L. \quad (5)$$

Тогда переменная сила Архимеда, действующая на поплавок

$$F_A(y, t) = \rho g V_{\Pi}(y, t), \quad (6)$$

где  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$  – плотность воды,  $g = 10 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения.

Интегро-дифференциальное уравнение вынужденных колебаний поплавок представляет собой второй закон Ньютона. На поплавок действуют:

1. Сила Архимеда,  $F_A(y, t)$ ;
2. Сила тяжести,  $F_T = mg$ ;
3. Сила сопротивления со стороны воды, пропорциональная вертикальной относительной скорости поплавок относительно воды

$$F_C = -h \mathcal{G}_{\text{отн}} = -h \left( \frac{dy}{dt} - \frac{dy_{\text{в}}}{dt} \right);$$

4. Сила сопротивления, связанная с подключенным к поплавок механизмом генератора электрического тока  $F_g$ .

Результирующая сила, действующая на поплавок, определяется выражением:

$$F = F_A(y, t) - mg - h \left( \frac{dy}{dt} - \frac{dy_{\text{в}}}{dt} \right) - F_g. \quad (7)$$

Так как, согласно второму закону Ньютона,

$$F = m \frac{d^2 y}{dt^2}, \text{ то получим:}$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = F_A(y, t) - mg - h \left( \frac{dy}{dt} - \frac{dy_{\text{в}}}{dt} \right) - F_g. \quad (8)$$

Таким образом, вынужденные колебания поплавок описываются интегро-дифференциальным уравнением, в котором  $F_A(y, t)$  определяется функцией, заданной кусочно. Решение этого уравнения было построено в программе MathCad.

Так как относительная скорость колебаний поплавок  $\mathcal{G}_{\text{отн}} = \frac{dy}{dt} - \frac{dy_{\text{в}}}{dt}$  относительно воды невелика, то сила сопротивления будет пропорциональна относительной скорости и ее можно определить по формуле Стокса:

$$F_C = 6\pi r \eta \mathcal{G}_{\text{отн}}, \quad (9)$$

где  $r$  – линейный размер поплавок,  $\eta$  – динамическая вязкость воды.

Таким образом, коэффициент пропорциональности  $h = 6\pi r \eta$ .

Согласно принятой кинематической модели, мощность генератора, подключенного к рассматриваемому поплавок, составит 100 Вт. Так как вертикальные скорости, развиваемые при колебаниях, составляют порядка 1 м/с, то для снятия такой мощности необходимо нагрузить поплавок силой сопротивления  $F_g = 100 \text{ Н}$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Решение итегро-дифференциального уравнения математической модели проводилось в программе MathCad. Промежуток времени интегрирования составлял 30 с. Для проверки модели был проведен расчёт динамики поплавок, выведенного из равновесного положения в спокойной воде. Результаты расчетов представлены на рис 3. Из графика видно, что поплавок совершает затухающие колебания со средним логарифмическим декрементом 0,5.

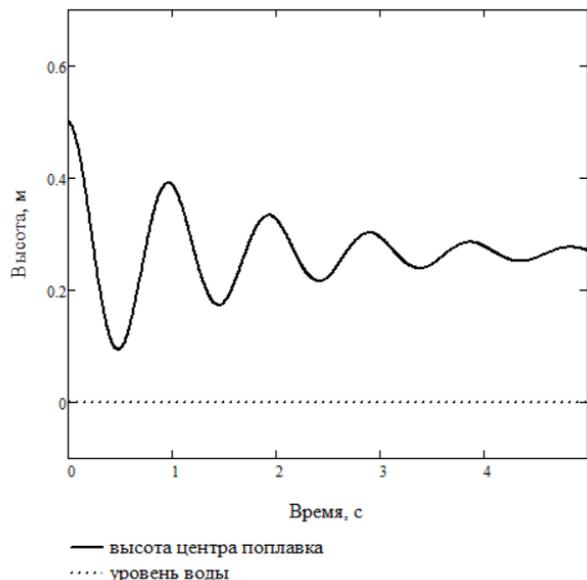


Рис. 3. Динамика колебаний поплавок в спокойной воде.  
Fig. 3. Dynamics of float oscillations in calm water.

Динамика вынужденных колебаний поплавок при наличии набегающих волн приведена на рис. 4. Из рисунка видно, что колебания поплавок складываются из колебаний, связанных с

набегающими волнами и из малоамплитудных колебаний меньшего периода, связанных с инертностью самого поплавок.

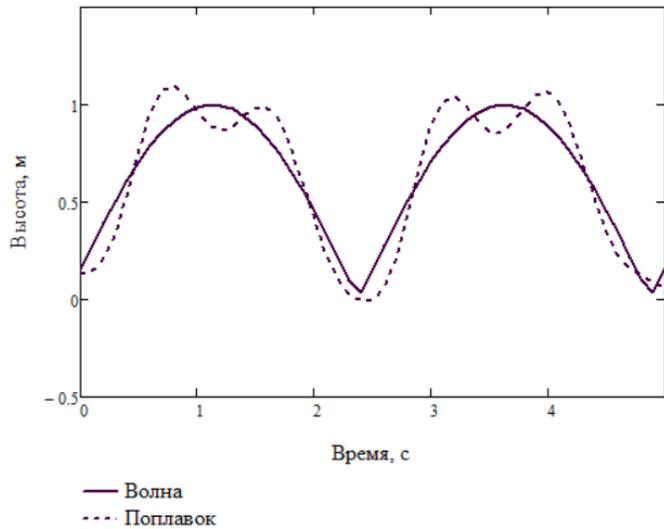


Рис. 4. Динамика вынужденных колебаний поплавок  
Fig. 4. Dynamics of forced oscillations of the float

Так как мощность  $P = \frac{dA}{dt}$ , то работа  $dA = P \cdot dt$ . Тогда работа, выполненная генератором за период волны:

$$A = \int_0^T P \cdot dt.$$

Мощность, снимаемая с поплавок прямо пропорциональна его вертикальной скорости в соответствии с выражением  $P = F_g \cdot \dot{y} = F_g \dot{y}$ , тогда механическая работа за один период составит:

$$A = \int_0^T F_g \dot{y} \cdot dt.$$

Тогда средняя механическая мощность

$$P_c = \frac{1}{T} \int_0^T F_g \dot{y} \cdot dt.$$

Согласно расчетам в программе MathCad средняя механическая мощность за один период составляет  $P_c = 96.5$  Вт.

## ВЫВОДЫ

Согласно построенной математической модели вынужденных колебаний поплавок кубической формы установлено, что при типичных параметрах морских волн в Черном море энергоагрегат с рассмотренными параметрами способен генерировать мощность до 96,5 Вт. Это делает его применение рентабельным, учитывая тот факт, что волны с рассмотренными параметрами встречаются

в Черном море повсеместно в течение большей части года, а зачастую и превосходят их, что позволяет применять энергоагрегаты большей мощности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шулейкин, В. Ш. Физика моря. М.: Наука, 1968. – 1090 с.
2. Sami Salama Hussen Hajjaj, A.F.B.A. Nazri. Simulated analysis and review of ocean wave power generators. International Journal of Engineering & Technology, 7 (4.35) (2018) 1-4.
3. Tianyu Zhang, Xinyu You. Application of wave power generation technology. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 242 (2019) 022006.
4. Per Holmberg, Magnus Andersson, Bjorn Bolund, Kerstin Strandanger. Wave Power. Surveillance study of the development, Elforsk, 2011. P. 47.
5. James R Joubert, Johannes L van Niekerk, Josh Reinecke, Imke Meyer. Wave Energy Converters (WECs). Centre for Renewable and Sustainable Energy Studies, 2013. P. 95.
6. Rafael Waters, 2008. Energy from Ocean Waves. Full Scale Experimental Verification of a Wave Energy Converter. Acta Universitatis Upsaliensis. Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 580. 130 pp. Uppsala.
7. Peter Meisen, Alexandre Loiseau, 2009. Ocean Energy Technologies For Renewable Energy Generation. Global Energy Network Institute. 27 p.

8. António F. O. Falcão, 2014. Modelling of Wave Energy Conversion. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. 38 p.
9. Markel Penalba and John V. Ringwood, 2016. A Review of Wave-to-Wire Models for Wave Energy Converters. *Energies*. doi:10.3390/en9070506.
10. B. Drew, A.R. Plummer, and M.N. Sahinkaya (2016) "A review of wave energy converter technologies" *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*. Vol 223, Issue 8, pp. 887-902.
11. Lafsah M, Ibrahim M, & Albani A, "The Development of Wave Energy Conversion Device to Generate Electricity", *AMM*, Vol.773-774, (2015), pp:460-464.
12. Muetze, J.G. Vining. *Ocean Wave Energy Conversion – A Survey*. IAS Annual Meeting (IEEE Industry Applications Society), 2006. Vol. 3: 1410 – 1417.
13. Shun Okamoto, Toshiaki Kanemoto, Bin Huang, Toshihiko Umekage. Counter-Rotating Type Wells Runners for Floating Wave Power Station. Conference: AFORE 2014, At Yeosu, 2014.
14. Rahmat Saptono. Selection of Materials for the Aerofoil Blades of a Wells Turbine Operated in an Oscillating Water Column (OWC) Wave Power Station. The 7th International Conference Quality in Research (QIR) 2004, At Depok
15. Shun Okamoto, Tatsuya Kinoshita, Toshiaki Kanemoto. Floating Type Ocean Wave Power Station at Various Wave Circumstances. The Twenty-second International Offshore and Polar Engineering Conference, 17-22 June, Rhodes, Greece, 2012.
16. Janis Berins. Technical analysis of the economic viability of sea wave power stations. 57th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), 2016.
17. Kanchana Amarasekara, Gayan Abeynayake, Manjula Fernando, Atputharajah Arulampalam. A prefeasibility study on ocean wave power generation for the southern coast of Sri Lanka: Electrical feasibility. *International Journal of Distributed Energy Resources and Smart Grids*. Volume 10 Number 2 (2014). Pages 79 – 93.
18. Md. Mahbubur Rahman, Nirupom Paul, Md. Saiful Islam, Md. Sa fi Rashed, Shahr ior Ahmed, 2013. Power Generation from Sea Wave: An Approach to Create Renewable Energy. *Global Journal of Researches in Engineering*. General Engineering, Volume 13 Issue 1. P. 12-17.
19. F. Danang Wijaya and B. Azhari, "Analytical design and optimization of flat-quasi linear generator for sea wave power plant in South Java Ocean," 2016 8th Int. Conf. on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE), Yogyakarta, 2016, pp. 1-6. doi: 10.1109/ICITEED.2016.7863276
20. John Kaldellis, Theodoris Chrysikos. Wave energy exploitation in the Ionian Sea Hellenic coasts: spatial planning of potential wave power stations. *International Journal of Sustainable Energy*, 2018. 38(4):1-21.
21. Акуленко Л.Д., Байдулов В.Г. Экстремальные свойства колебаний поплавок эллиптической формы // Доклады Академии наук. – 2019. – Т.487. – №2. – С. 140-143. doi: 10.31857/S0869-56524872140-143

## REFERENCES

1. Shuleikin, V. Sh. *Physics of the Sea*. Moscow: Nauka, 1968. – 1090 p.
2. Sami Salama Hussen Hajjaj, A.F.B.A. Nazri. Simulated analysis and review of ocean wave power generators. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4.35) (2018) 1-4.
3. Tianyu Zhang, Xinyu You. Application of wave power generation technology. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 242 (2019) 022006.
4. Per Holmberg, Magnus Andersson, Bjorn Bolund, Kerstin Strandanger. *Wave Power. Surveillance study of the development*, Elforsk, 2011. P. 47.
5. James R Joubert, Johannes L van Niekerk, Josh Reinecke, Imke Meyer. *Wave Energy Converters (WECs)*. Centre for Renewable and Sustainable Energy Studies, 2013. P. 95.
6. Rafael Waters, 2008. Energy from Ocean Waves. Full Scale Experimental Verification of a Wave Energy Converter. *Acta Universitatis Upsaliensis. Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology* 580. 130 pp. Uppsala.
7. Peter Meisen, Alexandre Loiseau, 2009. *Ocean Energy Technologies for Renewable Energy Generation*. Global Energy Network Institute. 27 p.
8. António F. O. Falcão, 2014. Modelling of Wave Energy Conversion. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. 38 p.
9. Markel Penalba and John V. Ringwood, 2016. A Review of Wave-to-Wire Models for Wave Energy Converters. *Energies*. doi:10.3390/en9070506.
10. B. Drew, A.R. Plummer, and M.N. Sahinkaya (2016) "A review of wave energy converter technologies" *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*. Vol 223, Issue 8, pp. 887-902.
11. Lafsah M, Ibrahim M, & Albani A, "The Development of Wave Energy Conversion Device to Generate Electricity", *AMM*, Vol.773-774, (2015), pp:460-464.
12. Muetze, J.G. Vining. *Ocean Wave Energy Conversion – A Survey*. IAS Annual Meeting (IEEE Industry Applications Society), 2006. Vol. 3: 1410 – 1417.
13. Shun Okamoto, Toshiaki Kanemoto, Bin Huang, Toshihiko Umekage. Counter-Rotating Type Wells Runners for Floating Wave Power Station. Conference: AFORE 2014, At Yeosu, 2014.
14. Rahmat Saptono. Selection of Materials for the Aerofoil Blades of a Wells Turbine Operated in an Oscillating Water Column (OWC) Wave Power Station. The 7th International Conference Quality in Research (QIR) 2004, At Depok

15. Shun Okamoto, Tatsuya Kinoshita, Toshiaki Kanemoto. Floating Type Ocean Wave Power Station at Various Wave Circumstances. The Twenty-second International Offshore and Polar Engineering Conference, 17-22 June, Rhodes, Greece, 2012.

16. Janis Berins. Technical analysis of the economic viability of sea wave power stations. 57th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), 2016.

17. Kanchana Amarasekara, Gayan Abeynayake, Manjula Fernando, Atputharajah Arulampalam. A prefeasibility study on ocean wave power generation for the southern coast of Sri Lanka: Electrical feasibility. International Journal of Distributed Energy Resources and Smart Grids. Volume 10 Number 2 (2014). Pages 79 – 93.

18. Md. Mahbubur Rahman, Nirupom Paul, Md. Saiful Islam, Md. Sa fi Rashed, Shahr ior Ahmed, 2013. Power Generation from Sea Wave: An Approach to

Create Renewable Energy. Global Journal of Researches in Engineering. General Engineering, Volume 13 Issue 1. P. 12-17.

19. F. Danang Wijaya and B. Azhari, "Analytical design and optimization of flat-quasi linear generator for sea wave power plant in South Java Ocean," 2016 8th Int. Conf. on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE), Yogyakarta, 2016, pp. 1-6. doi: 10.1109/ICITEED.2016.7863276

20. John Kaldellis, Theodoris Chrysikos. Wave energy exploitation in the Ionian Sea Hellenic coasts: spatial planning of potential wave power stations. International Journal of Sustainable Energy, 2018. 38(4):1-21.

21. Akulenko L.D., Baydulov V.G. Extreme properties of oscillations of an elliptical float // Doklady Akademii Nauk. – 2019. – T.487. – No. 2. – P. 140-143. doi: 10.31857/S0869-56524872140-143

## POWER UNIT FLOAT OSCILLATION ON THE SURFACE OF THE WAVES

Bekirov E.A., Karkach D.V., Murtazaev E.R.

Physics and Technology Institute V.I. Vernadsky Crimean Federal University,  
295007, Republic of Crimea, Simferopol, p. Vernadsky, 4.

**Abstract.** One of the urgent tasks of using renewable energy sources is the use of a power unit for converting the energy of sea waves into electrical energy. An important element of the design process of a wave power plant is to carry out mathematical modeling of its operation under various operating conditions to determine the output power and conduct a feasibility study. The process of converting the energy of sea waves into electrical energy for the proposed type of wave power plant is based on forced vertical oscillations of the power unit's float caused by sea waves. The mathematical model of the behavior of the float connected to the generator is based on the integro-differential equation of forced oscillations and makes it possible to determine the dynamics of its oscillations and draw a conclusion about the power taken from the generator connected to the float. The article presents the calculations of the dynamics of the float connected to the generator, the wave equation, the integro-differential equation of the float oscillations, the modeling of the incident wave and the float power unit is carried out. Data on the length, period and height of waves in the Black Sea off the coast of Crimea are used according to official forecasts and observations.

**Key words:** float; wavelength; wave speed; wave height; forced vibrations of the float.

## АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОНОМНОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ MATLAB/SIMULINK

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

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Институт ядерной энергии и промышленности, г. Севастополь, РФ, laith\_2210@yahoo.com

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Институт ядерной энергии и промышленности, г. Севастополь, РФ, haeder.issa84@gmail.com

<sup>3</sup>ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» Институт энергетики, г. Санкт-Петербург, РФ, qaysadnanali153@gmail.com

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

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

**Аннотация:** Использование возобновляемых источников энергии и, в частности, солнечной энергии привлекло значительное внимание в последние десятилетия. Проекты по производству фотоэлектрической (PV) энергии реализуются в очень большом количестве во многих странах. Многие исследовательские работы проводятся для анализа и проверки производительности фотоэлектрических модулей. Реализация экспериментальной установки для фотоэлектрической энергосистемы с преобразователем постоянного тока для проверки производительности системы не всегда возможна из-за практических ограничений. Программная имитационная модель помогает анализировать производительность фотоэлектрических модулей, и более полезной будет общая схемная модель, которую можно использовать для проверки любого коммерческого фотоэлектрического модуля. В данной работе представлено моделирование математической модели фотоэлектрического модуля, повышающего преобразователя постоянного тока в переменный, а также было проведено моделирование режимов работы солнечной генерирующей системы при различных нагрузочных характеристиках. Модель, представленная в этой статье, может использоваться как обобщенный фотоэлектрический модуль для анализа производительности любых коммерчески доступных фотоэлектрических модулей. В представленной работе исследовались параметры, которые влияют на производительность генерирующей системы. Результаты получены для работы фотоэлектрических преобразователей постоянного тока в переменный. Представленные характеристики сильно зависят от таких параметров, как солнечная инсоляция, температура рабочей поверхности фотоэлектрического модуля, время заряда-разряда аккумуляторных батарей и др. При изменении одного из значений этих параметров меняются режимы работы солнечной электрогенерирующей батареи. Изменение режимов работы может приводить к сбоям всей работы системы, поэтому необходим контроль всех энергетических характеристик установки. Достичь повышения эффективности генерации системы способны предложенные в этой работе действия, направленные на изучение работы фотоэлектрической системы и системы накопления энергии, а также использование необходимых вспомогательных устройств для контроля и управления параметрами установки. Исследования, проведенные в ходе представленной работы, позволяют повысить уровень знаний по контролю и управлению параметрами фотоэлектрических генерирующих установок и расширить возможности их бесперебойной работы и увеличения энерговыработки.

**Предмет исследования.** Предмет исследования. Анализа и проверки производительности фотоэлектрические модули.

**Материалы и методы.** В работе были проведены Реализация экспериментальной установки для фотоэлектрической энергосистемы с преобразователем постоянного тока для проверки производительности системы и исследования действующей компьютерного моделирования параметров интегрированной системой солнечной генерации фотоэлектрическими с использованием программной среды Matlab, а также методы теоретического анализа, математические и статистические методы, необходимые для обработки материалов исследования.

**Результаты.** оптимизировать работу фотоэлектрических систем и повысить их эффективность.

**Выводы.** По результатам можно сделать заключение об увеличении эффективности работы солнечных установок с подобным библиотекам блоков Simulink, что делает её легко моделируемой и анализируемой в сочетании с силовой электроникой для работы системы с максимальной мощностью. Принимая во внимание влияние солнечного излучения и температуры ячейки на выходной ток и мощностные характеристики модулями при помощи предложенной модели возможно значительно увеличить эффективность работы всей установки.

**Ключевые слова:** Автономная фотоэлектрическая система, программа Matlab/Simulink, фотоэлектрические панели, аккумуляторная батарея, контроллер, нагрузка, температура, энергопроизводительность системы, солнечная генерирующая установка.

## ВВЕДЕНИЕ

Фотоэлектрические энергетические системы играют все более важную роль в современной структуре электроэнергетики из-за продолжающегося сокращения традиционных источников энергии в мире [1]. Основные преимущества фотоэлектрических систем: они не имеют движущихся частей, не производят шума, не требуют или почти не требуют обслуживания, не загрязняют окружающую среду, являются возобновляемыми, имеют модульную структуру и высокую надежность [2-4].

Автономная фотоэлектрическая система питания представляет собой полный набор взаимосвязанных компонентов для преобразования солнечного излучения непосредственно в электричество и обычно состоит из фотоэлектрического генератора, батареи, контроллера заряда, инвертора и нагрузки системы [5]. Автономные системы – это фотоэлектрические электростанции, которые не подключены к коммунальной сети [6].

Однако, чтобы понять работу фотоэлектрической системы и оценить ее производительность в зависимости от климатических условий, необходимо представить ее математической моделью на основе фотоэлектрического элемента, на рис. 1 показана функциональная схема фотоэлектрической системы [7].

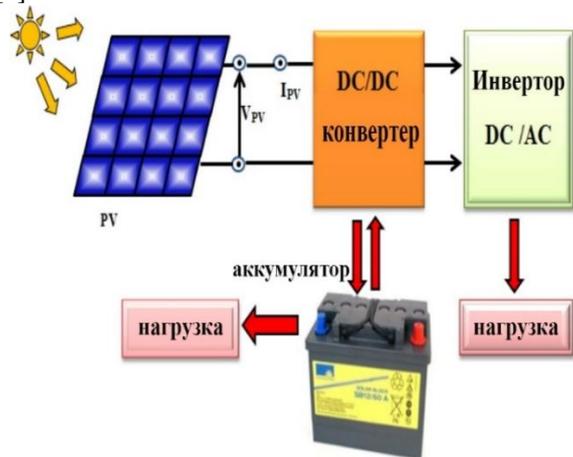


Рис.1 Структурная схема автономной фотоэлектрической системы

Fig. 1 The block diagram of an autonomous photovoltaic system

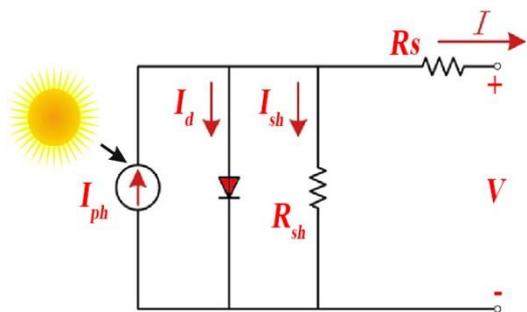
При помощи модели может теоретически прогнозировать поведение фотоэлектрической системы в отношении определенных параметров, таких как солнечное излучение, температура и сопротивление. Исследователи разработали различные модели фотоэлектрических систем. Среди них самая простая модель с одним диодом. Это хороший компромисс между простотой и точностью. Между прочим, он наиболее широко используется: [8-10] как с последовательными, так и с параллельными резисторами, чтобы показать влияние освещенности и температуры на фотоэлектрический модуль [11], обеспечить

взаимодействие с преобразователем мощности [12], найти наилучшие уравнения тока ( $I$ ) и напряжения ( $V$ ) для модели с одним фотоэлектрическим элементом и влияния последовательного и параллельного сопротивления [13]. Прямой расчет управляется математической моделью с использованием такого программного обеспечения, как Matlab Simulink [14]. Его оценивают при помощи простого аналитического метода извлечения параметров, входящих в уравнение поведения фотоэлектрического модуля. А представляют математическую модель фотоэлектрического элемента (PV) с использованием среды Matlab-simulink, для нахождения параметров нелинейного уравнения, связывающего ток ( $I$ ) с уравнением напряжения ( $V$ ) [15]. Используя простой и успешный метод для оценки последовательного сопротивления, коэффициента идеальности, тока насыщения и шунтирующей проводимости в освещенных элементах. Такой подход включает в себя вспомогательную функцию и компьютерную настройку [16]. Расчет максимальной мощности очень важен в фотоэлектрических системах. Фактически это соответствует условию оптимального использования системы. Многие авторы предложили фотоэлектрические системы с контролем точки максимальной мощности (ТММ) и сравнивают производительность различных методов ТММ, которые в настоящее время используются в солнечной фотоэлектрической системе, и представляют новый метод ТММ. Этот метод обеспечивает лучшую производительность, выполнение систематического анализа при моделировании и оценке ключевых подсистем, для получения максимальной мощности солнечного элемента. При их моделировании используется однодиодная эквивалентная схема [17]. В этой работе также рассматривается конструкция понижающего преобразователя DC-DC и интеграция понижающего преобразователя DC-DC с фотоэлектрическим модулем [18]. Понижающий преобразователь постоянного тока в переменный разработан и смоделирован с использованием Matlab. Входные и выходные данные преобразователя получены в результате моделирования в условиях разомкнутого контура с постоянным входным напряжением постоянного тока. Кроме того, выходы берутся из преобразователя, подавая выход фотоэлектрического модуля в качестве входа в него.

## Моделирование солнечных фотоэлементов и массивов

Чтобы создать поведение солнечной фотоэлектрической (PV) ячейки, имитационная модель построена на основе математической модели. Математическое выражение тока нагрузки можно получить из эквивалентной схемы солнечного фотоэлемента. Эквивалентная схема

солнечного фотоэлемента может быть выражена следующим образом [19] и приведена на рис. 2.



**Рис.2** Эквивалентная электрическая схема фотоэлектрической модели

**Fig. 2** Equivalent electrical circuit of the photovoltaic model

Для этой эквивалентной схемы уравнение тока нагрузки приведено ниже [20], формула (1).

$$I = I_{ph} - I_s \left[ \exp \frac{q(V+IR_S)}{kT} - 1 \right] - \frac{V + IR_S}{R_{SH}}, \quad (1)$$

где  $I$  – ток нагрузки,  $I_{ph}$  – фототок;  $I_s$  – ток насыщения диода;  $q = 1.6 \times 10^{-19}$  C – заряд электрона;  $k = 1,38 \times 10^{-23}$  Дж/К – постоянная Больцмана;  $V$  – напряжение на клеммах элемента,  $T$  – температура элемента в Кельвинах;  $N$  – идеальный фактор диода;  $R_{SH}$  является шунтирующим сопротивлением, и  $R_S$  является последовательным сопротивлением [21].

Для разработки имитационной модели солнечного фотоэлектрического модуля был рассмотрен стандартный модуль BP MSX60 [22]. В следующей таблице показаны необходимые ключевые характеристики фотоэлектрического модуля при стандартных условиях тестирования:

**Таблица 1.** BP MSX60 pv модуль электрические характеристики

**Table 1.** BP MSX60 pv module electrical characteristics

Параметр	Значение
Ток короткого замыкания ( $I_{sc}$ )	3,8A
Напряжение холостого хода ( $V_{oc}$ )	21.1V
Максимальный ток питания ( $I_{mp}$ )	3.5A
Максимальное напряжение питания ( $V_{mp}$ )	17.1V
Число последовательно соединенных ячеек $N_s$	36
Температурный коэффициент для $I_{sc}$ , K1	$(0.065 \pm 0.015)\%/^{\circ}C$
Температурный коэффициент для $V_{oc}$ , KV	$-(80 \pm 10)mV/^{\circ}C$

Фототок,  $I_{ph}$  зависит от солнечного излучения и температуры элемента. Мощность фотоэлектрического модуля изменяется в зависимости от солнечной освещенности, которая может быть получена из уравнения фототока [23]:

$$I_{ph} = \left[ I_{sc} + K_i(T - T_{ref}) \right] \frac{B}{1000}. \quad (2)$$

Здесь  $K_i$  – это температурный коэффициент тока короткого замыкания,  $T$  – температура элемента,  $I_{sc}$  – ток короткого замыкания,  $T_{ref}$  – эталонная температура, а  $B$  – солнечное излучение в Вт/м<sup>2</sup>.

Ток насыщения диода меняется как кубическая функция от температуры ячейки и имеет существовать получен из последующего уравнения [24]:

$$I_s(T) = I_{RS} \left( \frac{T}{T_{ref}} \right)^{\frac{3}{N}} \exp \frac{qV_t}{NK \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right)}, \quad (3)$$

$$I_{sh} = \frac{V_d}{R_{SH}} = \frac{V + IR_S}{R_{SH}}. \quad (4)$$

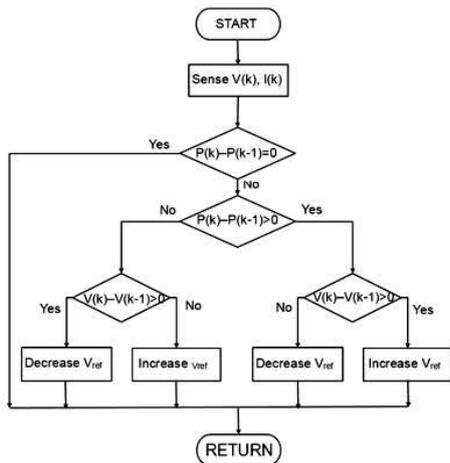
Здесь  $I_{sh}$  очень низкий, потому что шунтирующий резистор  $R_{sh}$  обычно очень большой и не зависит от напряжения. В этом уравнении  $I_{RS}$  – это обратный ток насыщения диода, а  $V_t$  – тепловое напряжение. Ток обратного насыщения диода может быть получен из уравнения, приведенного ниже [25]:

$$I_{RS} = \frac{I_{sc}}{\left[ \exp \frac{qV_{oc}}{kT} \right]}. \quad (5)$$

Эта модель показывает влияние различных последовательностей и сопротивления шунта, поскольку первое уравнение зависит от параметров  $R_S$  и  $R_{sh}$ .

### Система точки максимальной мощности

Выходная мощность солнечного фотоэлектрического модуля изменяется с в соответствии с движением Солнца, изменением уровня солнечной инсоляции и изменением температуры. Кроме того, в фотоэлектрических характеристиках фотоэлектрического модуля есть единственная максимальная точка мощности для конкретного рабочего состояния. Желательно, чтобы фотоэлектрический модуль работал близко к этой точке, то есть выход фотоэлектрического модуля приближался к точки максимальной мощности (ТММ). Процесс работы фотоэлектрического модуля в этом состоянии называется отслеживанием ТММ. Максимальное использование фотоэлектрической мощности улучшает использование солнечного фотоэлектрического модуля. Многие алгоритмы ТММ были предложены в прошлом. Сравнения между ними включены в работы, представленные в [26]. Алгоритм P&O обеспечивает оптимальную работу системы в различных условиях. На рис. 3 показан предлагаемый алгоритм ТММ управления мощностью PV. Целью алгоритма ТММ является автоматический поиск максимального рабочего напряжения и максимального рабочего тока, при которых фотоэлектрический модуль может работать при максимальной мощности при заданных условиях освещенности и температуры.

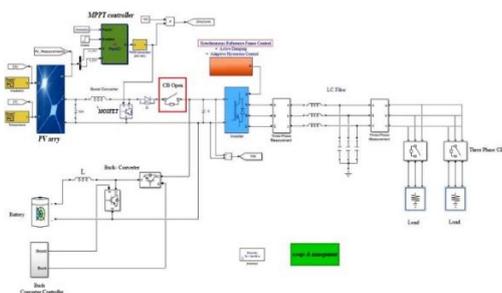


**Рис 3.** Блок-схема метода ТММ (P&O)  
**Fig 3.** Block diagram of the MPPT method (P&O)

Алгоритм Perturb and Observe (P&O) ТММ начинается с расчета выходной мощности фотоэлектрических модулей и ее изменения путем измерения как тока, так и напряжения фотоэлектрического модуля. Метод ТММ в этом случае периодически отслеживает приращение или уменьшение напряжения солнечного фотоэлектрического модуля. Если такое возмущение генерируется в том же направлении и если оно приводит к снижению мощности фотоэлектрического модуля, то возмущение генерируется в противоположном направлении. Рабочий цикл изменяется до тех пор, пока не будет получено ТММ, однако система колеблется вокруг точки ТММ, уменьшая размер шага возмущения, уменьшает колебание, но замедляет его отслеживание [27].

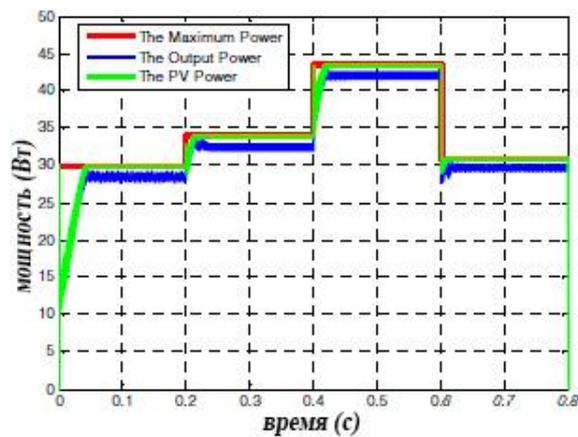
### Моделирование и результаты

Система на рис. 1 смоделирована с точки зрения управления, при изменении температуры или излучения создается новая точка максимальной мощности. Системе необходимо перейти к этой новой установке. ТММ выполняет задачу отслеживания вместе с контроллером PI. Требуемое значение коэффициента заполнения затем подается на устройство, которое запускает затвор полевого МОП-транзистора в понижающем преобразователе. Реализация всей системы в Matlab/Simulink показана на рисунке 4.



**Рис.4.** Модель Simulink предлагаемой фотоэлектрической системы.  
**Fig. 4.** The Simulink's Model of the proposed photovoltaic system

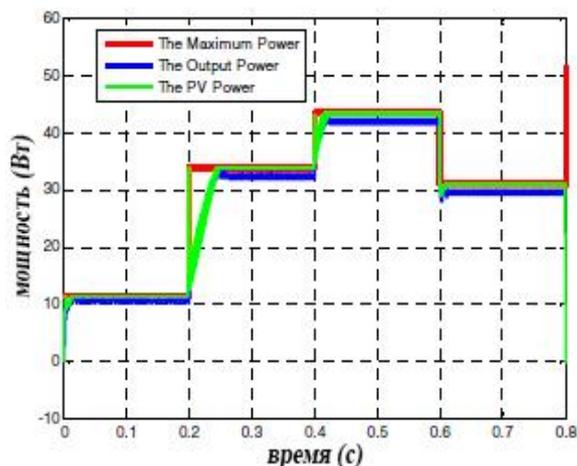
Ток фотоэлектрического модуля подается на нагрузку через индуктор. Когда переключатель MOSFET находится в положении ON, ток фотоэлектрического модуля протекает через индуктивность. Это увеличивает напряжение на конденсаторе. Когда переключатель MOSFET находится в положении ВЫКЛ, ток принудительно протекает через катушку индуктивности и диод, и напряжение на конденсаторе уменьшается. Излучение и температура меняются и используются для проверки работы системы. В моделировании используются четыре различных погодных условия. Эти наборы: (550 Вт / м<sup>2</sup> и 25 °С), (600 Вт/м<sup>2</sup> и 35 °С), (1200 Вт / м<sup>2</sup> и 45 °С) и (1000 Вт / м<sup>2</sup> и 55 °С). Максимальная мощность фотоэлектрического модуля и выходная мощность показаны на рис. 5. Ясно, что система достигает максимальной мощности. Разница между выходной мощностью и мощностью фотоэлектрического модуля связана с потерями в преобразователе.



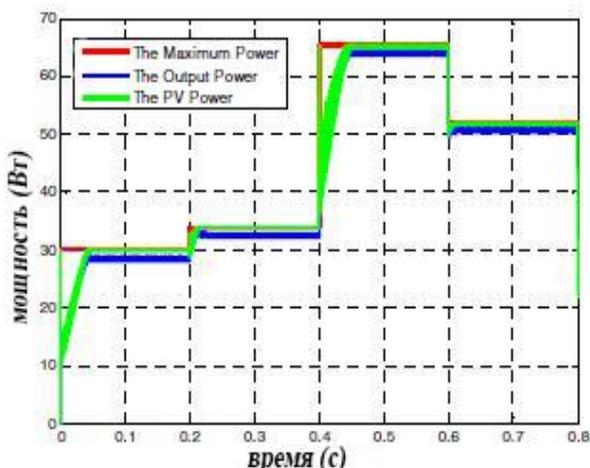
**Рис.5.** Мощность фотоэлектрического модуля, наибольшая мощность и мощность выхода

**Fig. 5.** The types of power in PV module

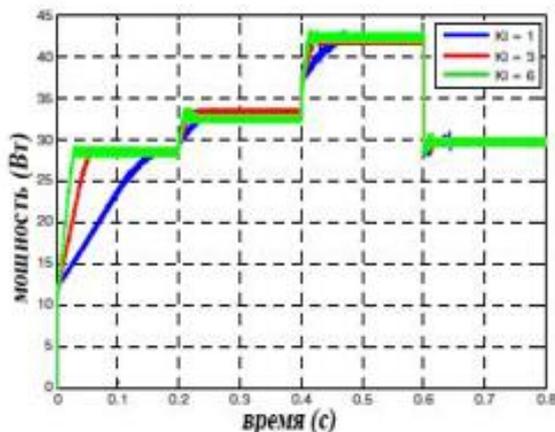
Было смоделировано множество сценариев для оценки производительности системы. Сценарий I: (220 Вт / м<sup>2</sup> и 25 °С), (600 Вт / м<sup>2</sup> и 35 °С), (800 Вт / м<sup>2</sup> и 45 °С) и (600 Вт / м<sup>2</sup> и 55 °С). Из рисунка 6 видно, что система отслеживает максимальную мощность даже на этих низких уровнях. Сценарий II: (550 Вт / м<sup>2</sup> и 25 °С), (600Вт/м<sup>2</sup> и 35 °С), (1200 Вт / м<sup>2</sup> и 45 °С) и (1000 Вт / м<sup>2</sup> и 55 °С) для имитации погоды в пустыне Ирака. На рисунке 7 показана соответствующая выходная мощность. Проверяется влияние коэффициента усиления PI на производительность системы. Увеличение коэффициента усиления PI-регулятора увеличивает время нарастания системы и, следовательно, улучшает реакцию системы на изменение температуры и излучения, это показано на рисунке 8. На рисунке 9 показано влияние частоты ТММ на отклик системы. При 200 Гц отклик медленный, на 1 кГц отклик становится быстрее. Увеличение частоты ТММ выше 1 кГц не улучшает отклик системы, потому что динамика всей системы контролируется динамикой преобразователя.



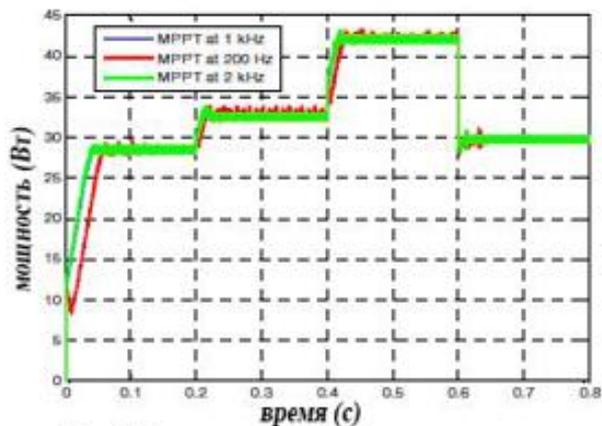
**Рис.6.** Мощность фотоэлектрического модуля, максимальная мощность и выходная мощность  
**Fig. 6.** The PV module (output and maximum) power



**Рис.7.** Мощность фотоэлектрического модуля, максимальная мощность и выходная мощность.  
**Fig. 7.** The PV module (output and maximum) power



**Рис.8.** Выходная мощность с различным коэффициентом усиления PI  
**Fig. 8.** The power with a various PI gaining



**Рис.9.** Выходная мощность при разных частотах TMM  
**Fig. 9.** The outcome power at various frequencies MPPT

## ВЫВОДЫ

Основываясь на подходе Matlab/Simulink, мы получили, что общая производительность автономных фотоэлектрических систем зависит от уровня солнечного излучения и от состояния заряда батареи.

Результаты показывают, что нагрузка на потребителей покрывается независимо от уровня солнечного излучения для двух типов дней и весенне-осенних условий.

Системная модель фотоэлектрических модулей на основе схем помогает анализировать производительность коммерческих фотоэлектрических модулей. Общая модель фотоэлектрического модуля разработана с часто используемыми блоками в виде замаскированного блока подсистемы. Результаты, полученные в результате моделирования, показывают отличное совпадение с графиками характеристик, приведенными в технических данных выбранных моделей.

Таким образом, модель может быть использована для анализа производительности любого коммерческого фотоэлектрического модуля. Также моделируется повышающий преобразователь постоянного тока в переменный, и результаты получаются от преобразователя с постоянным входным источником постоянного тока и путем соединения с ним фотоэлектрического модуля. Результаты показывают близкое соответствие между выходом преобразователя с постоянным входом постоянного тока и преобразователем с фотоэлектрическим питанием.

Также представлены выходные напряжение и ток повышающего преобразователя DC-DC с фотоэлектрическим питанием, полученные для изменения уровней облучения при постоянной температуре.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ производительности гибридных фото-ветроэлектрических установок / Абд Али, Лаит Мохаммед А., Ф.М. Аль-Руфай, Б.А. Якимович, В.В. Кувшинов // Энергетические установки и технологии. 2019. Т. 5, № 2. С. 61–68.
2. Abo-Elyousr, F.K.; Abdelshafy, A.M.; Abdelaziz, A.Y. TMMT-Based Particle Swarm and Cuckoo Search Algorithms for PV Systems. In *Modern Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Energy Systems*; Springer: Cham, Switzerland, 2020; pp. 379-400.
3. Абдали Л.М., Аль-Руфай Ф.М., Якимович Б.А., Кувшинов В.В., Исса Х.А., Мохаммед Х.Д. Комбинированная энергетическая установки для преобразования солнечной и ветровой энергии. международная научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2020» – Севастополь: СевГУ, 2020. с.21-28
4. Интеллектуальная система управления, используемая при работе ветроэлектрических установок /Л.М. Абдали, Ф.М. Аль-Руфай, Б.А. Якимович, В.В. Кувшинов // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2021. Т. 24, № 1. С.102–112. DOI: 10.22213/2413-1172-2021-1-102-112
5. Абд Али Лаит Мохаммед, Хайдер Абдулсахиб Исса. Разработка элементов Smart Grid для оптимизации режимов районных сетей // Молодой ученый. 2014. № 8. С. 117–120.
6. Kuvshinov V.V., Abdali L.M., Kakushina E.G. Studies of the PV Array Characteristics with Changing Array Surface Irradiance. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 223-228. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19040054>.
7. Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A. Lyamina, N.V. Some Results of a Study of Wave Energy Converters at Sevastopol State University. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 256-259. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19040029>.
8. Vologdin S.V., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Analysis of Various Energy Supply Scenarios of Crimea with Allowance for Operating Modes of Solar Power Planta. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 229-234. <https://doi.org/10.3103/S0003701X1904008X>.
9. Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A., Abd Ali L.M. An Offshore Wind-Power-Based Water Desalination Complex as a Response to an Emergency in Water Supply to Northern Crimea. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 260-264. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19040030>.
10. Guryev V.V., Yakimovich B.A., Abd Ali L.M. Improvement of Methods for Predicting the Generation Capacity of Solar Power Plants: the Case of the Power Systems in the Republic of Crimea and City of Sevastopol. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 242-246. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19040042>.
11. Ahmed Mohammed H., Anssari M.O.H., Abd Ali L.M. Electricity generation by using a hybrid system (photovoltaic and fuel cell). *J. Eng. Appl. Sci.*, 2019, no. 14, pp. 4414-4418. [doi.org/10.3923/jeasci.2019.4414.4418](https://doi.org/10.3923/jeasci.2019.4414.4418).
12. Layth Mohammed Abd Ali, Haider Ahmed Mohammed and HusamAbdulhuseinWahhab. A Novel Design of 7-Level Diode Clamped Inverter. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2019, no. 14, pp. 3666-3673. [doi.org/10.36478/jeasci.2019.3666.3673](https://doi.org/10.36478/jeasci.2019.3666.3673).
13. Kuvshinov V.V., Kolomiychenko V.P., Kakushkina E.G. Storage System for Solar Plants. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 3, pp. 153-158. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19030046>.
14. Kuznetsov, N.P., Abd Ali, M.L., Kuvshinov, V.V., Issa, A. H., Mohammed, J. H., & Al-bairmani, G.A. Investigation of the losses of photovoltaic solar systems during operation under partial shading. *Journal of Applied Engineering Science*, 2020, Vol. 18, No. 3, pp. 313-320. Doi :10.5937/jaes18-24460.
15. Abd Ali, L. M., Al-Rufae, F. M., Kuvshinov, V. V. et al. Study of Hybrid Wind–Solar Systems for the Iraq Energy Complex. *Appl. Sol. Energy*, 2020, vol. 56, no. 4, pp. 284–290. <https://doi.org/10.3103/S0003701X20040027>.
16. Кувшинов, В., Абдали, Л., Морозова, Н., Крит, Б., Аль-Руфай, Ф., & Исса, Х. (2021). Экспериментальные исследования приемных поверхностей плоских солнечных коллекторов. *Электронная обработка материалов*, 57(1), 75-81. DOI: 10.5281/zenodo.4456690
17. Оценка потенциала ветроэнергетических ресурсов на юге Ирака / Ф. М. Аль-Руфай, Л. М. Абдали, В. В. Кувшинов, Б. А. Якимович // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2020. Т. 23, № 3. С. 105-113. DOI: 10.22213/2413-1172-2020-3-105-113
18. Abd Ali L.M., Ahmed Mohammed H., Anssari M.O.H. Modeling and simulation of tidal energy. *J. Eng. Appl. Sci.*, 2019, no. 14, pp. 3698-3706. DOI: 10.36478/jeasci.2019.3698.3706
19. Абдали Л. М., Аль-Руфай Ф. М., Исса Х.А., Мохаммед Х.Д., Якимович Б.А., Моделирование и контроль энергии ветра, X Всероссийская научно-практическая конференция "Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов", - Томск: ТПУ, 22–24 апреля 2020 г., с. 14-19.
20. Абдали Л.М. Моделирование параметров управления интегрированной системой солнечной генерации и накопления энергии / Л.М. Абдали, В.В. Кувшинов, Э.А. Бекиров, Ф.М. Аль-Руфай // Строительство и техногенная безопасность. – 2020. – № 18(70). – с.133-142. DOI: 10.37279/2413-1873-2020-18-133-142.
21. Issa H.A., Mohammed H.J., Abdali L.M., Al Bairmani A.G., Ghachim M. Mathematical Modeling and Controller for PV System by Using TMMT Algorithm. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2021, vol. 24, no. 1, pp. 96-101. DOI: 10.22213/2413-1172-2021-1-96-101
22. Belkaid, A.; Colak, I.; Kayisli, K. Implementation of a modified P&O-TMMT algorithm adapted for varying solar radiation conditions. *Electr. Eng.* 2017, 99, pp. 839–846.

23. Оптимизация аккумулирования энергии в гибридных системах ветроэнергетики и фотовольтаики / Л.М. Абдали, Ф.М. Аль-Руфай, Б.А. Якимович, В.В. Кувшинов // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2020. Т. 23, № 2. С. 100–108. doi: 10.22213/2413-1172-2020-2-100-108.

24. Абдали Л.М., Аль-Руфай Ф.М., Мохаммед Х.Д., Якимович Б.А., Кувшинов В.В. Моделирование гибридной фото-ветроэнергетической системы с сетевым подключением. В сборнике: Возобновляемые источники энергии. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием и XII научной молодежной школы, 2020, С. 117-128.

25. Исса Х. А., Абдали Л. М., Аль-Руфай Ф. М., Мансор М. Ф., Мохаммед Х.Д., Моделирование фотоэлектрического модуля с помощью программы matlab, X Всероссийская научно-практическая конференция "Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов", Томск: ТПУ, 22-24 апреля 2020, с.116-122.

26. Мохаммед, Х. Д., Абдали, Л.М., Исса, Х.А., Аль-Руфай, Ф.М., Разработка обобщенной фотоэлектрической Модель с MATLAB использованием, X Всероссийская научно-практическая конференция "Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов", Томск: ТПУ, 22-24 апреля 2020, С.166-172.

27. Javed, K.; Ashfaq, H.; Singh, R. A new simple TMMT algorithm to track TMM under partial shading for solar photovoltaic systems. *Int. J. Green Energy* 2020, 17, 48-61.

## REFERENCES

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

2. Abo-Elyousr, F.K.; Abdelshafy, A.M.; Abdelaziz, A.Y. TMMT-Based Particle Swarm and Cuckoo Search Algorithms for PV Systems. In *Modern Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Energy Systems*; Springer: Cham, Switzerland, 2020; pp. 379-400.

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

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

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

Kuvshinov V.V., Abd Ali L.M., Kakushina E.G. Studies of the PV Array Characteristics with Changing Array Surface Irradiance. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 223-228.

<https://doi.org/10.3103/S0003701X19040054>.

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

8. Vologdin S.V., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Analysis of Various Energy Supply Scenarios of Crimea with Allowance for Operating Modes of Solar Power Planta. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 229-234.

<https://doi.org/10.3103/S0003701X1904008X>.

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

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

11. Ahmed Mohammed H., Anssari M.O.H., Abd Ali L.M. Electricity generation by using a hybrid system (photovoltaic and fuel cell). *J. Eng. Appl. Sci.*, 2019, no. 14, pp. 4414-4418.

[doi.org/10.3923/jeasci.2019.4414.4418](https://doi.org/10.3923/jeasci.2019.4414.4418).

12. Layth Mohammed Abd Ali, Haider Ahmed Mohammed and HusamAbdulhuseinWahhab. A Novel Design of 7-Level Diode Clamped Inverter. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2019, no. 14, pp. 3666-3673. [doi.org/10.36478/jeasci.2019.3666.3673](https://doi.org/10.36478/jeasci.2019.3666.3673).

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

14. Kuznetsov, N.P., Abd Ali, M.L., Kuvshinov, V.V., Issa, A.H., Mohammed, J. H., & Al-bairmani, G.A. Investigation of the losses of photovoltaic solar systems during operation under partial shading. *Journal of Applied Engineering Science*, 2020, Vol. 18, No. 3, pp. 313 - 320. doi :10.5937/jaes18-24460.

15. Abd Ali, L. M., Al-Rufae, F. M., Kuvshinov, V.V. et al. Study of Hybrid Wind–Solar Systems for the Iraq Energy Complex. *Appl. Sol. Energy*, 2020, vol. 56, no. 4, pp. 284–290.

<https://doi.org/10.3103/S0003701X20040027>.

16. Kuvshinov, V.V., Morozova, N. V., Abd Ali, L. M., Krit, B. L., Al-Rufae, F. M., & Issa, H.A. (2021). Experimental studies for the receiving surfaces of solar flat collectors. *Электронная обработка материалов*, 1(57), 75–81.

<http://doi.org/10.5281/zenodo.4456690>

17. Al-Rufae F.M., Abdali L.M., Kuvshinov V.V., Yakimovich B.A. Assessment of the Potential of Wind Energy Resources in Southern Iraq // *Vestnik*

IzGTU imeni M.T. Kalasnikova. - 2020. - Vol. 23. - N. 3 - P. 105-113. doi: 10.22213/2413-1172-2020-3-105-113.

18. Abd Ali L.M., Ahmed Mohammed H., Anssari M.O.H. Modeling and simulation of tidal energy. *J. Eng. Appl. Sci.*, 2019, no. 14, pp. 3698-3706. doi.org/10.3923/jeasci.2019.3698.3706.

19. Abdali L.M., Al-Rufai F.M., IssaKh.A., Mohammed Kh.D., Yakimovich B.A., [Modeling and control of wind energy], X Vserossiyskayanauchno-prakticheskayakonferentsiya "Nauchnayainitsiativainostrannykhstudentov i aspirantovrossiyskikhvuzov", - Tomsk: TPU, April 22-24, 2020, p. 14-19(in Russ.).

20. Abdali L.M. Development of the simulation and control system for an integrated solar energy generation and storage / L.M. Abdali, V.V..Kuvshinov, E.A. Bekirov, F.M. Al-Rufae // Construction and industrial safety. – 2020. – № 18(70). – p.133-142. DOI: 10.37279/2413-1873-2020-18-133-142.

21. Fazal, M.R.; Kamran, M.; ul Haq, I.; Abbas, Z.; Ayyaz, M.N.; Mudassar, M. Modified Perturb and Observe TMMT algorithm for partial shading conditions. *Int. J. Renew. Energy Res.*2019, 9,721-731.

22. Belkaid, A.; Colak, I.; Kayisli, K. Implementation of a modified P&O-TMMT algorithm adapted for varying solar radiation conditions. *Electr. Eng.* 2017, 99, 839–846.

23. Abdali L.M., Al-Rufai F.M., Yakimovich B.A., KuvshinovV.V.[Optimization of Energy Storage

in HybridWind and Photovoltaic Energy Systems]. *VestnikIzhGTUimeni M.T. Kalashnikova*, 2020, vol. 23, no. 2, pp. 100-108 (in Russ.). DOI:10.22213/2413-1172-2020-2-100-108.

24. Abdali L.M., Al-Rufai F.M., Mohammed H.D., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Modeling of a hybrid photo-wind power system with a mains connection V sbornike: *Vozobnovlyayemyye istochniki energii. Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem i XII nauchnoy molodezhnoy shkoly*, 2020, S. 117-128. (in Russ.).

25. Issa H. A., Abdali L. M., Al-Rufai F. M., Mansor M. F., Mohammed H. D., [Modeling a photovoltaic module using the matlab program].X Vserossiyskayanauchno-prakticheskayakonferentsiya "Nauchnayainitsiativainostrannykhstudentov i aspirantovrossiyskikhvuzov", - Tomsk: TPU, April 22-24, 2020, pp. 116-122 (in Russ.).

26. Mohammed, H. D., Abdali, L. M., Issa, H. A., Al-Rufai, F. M., Development of a Generalized Photoelectric Model with MATLAB.X Vserossiyskayanauchno-prakticheskayakonferentsiya "Nauchnayainitsiativainostrannykhstudentov i aspirantovrossiyskikhvuzov", - Tomsk: TPU, April 22-24, 2020, pp. 166-172 (in Russ.).

27. Javed, K.; Ashfaq, H.; Singh, R. A new simple TMMT algorithm to track TMM under partial shading for solar photovoltaic systems. *Int. J. Green Energy* 2020, 17, 48–61.

ANALYSIS AND SIMULATION OFF-GRID PV PANELS BY USING MATLAB / SIMULINK ENVIRONMENT

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

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

<sup>2</sup>Sevastopol State University, Institute of Nuclear Energy and Industry,  
7, Kurchatov Avenue, Sevastopol, 299015, Russia, E-mail: haeder.issa84@gmail.com

<sup>3</sup>Postgraduate student, Institute of Energy of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,  
St. Petersburg, Russia, E-mail: qaysadnanali153@gmail.com

<sup>4</sup>Sevastopol State University, Institute of Nuclear Energy and Industry,  
Kurchatov Avenue, 7, Sevastopol, 299015, Russia, E-mail: kuvshinov.vladimir@gmail.com

<sup>5</sup>Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky,  
295007, Simferopol, Prospect Academic Vernadsky 4, Russia, bekirov.e.a@cfuv.ru

**Abstract.** The use of renewable energy sources and in particular solar energy has received considerable attention in recent decades. Photovoltaic (PV) energy projects are being implemented in very large numbers in many countries. Many research projects are carried out to analyze and verify the performance of PV modules. Implementing a pilot plant for a photovoltaic power system with a DC / DC converter to test system performance is not always possible due to practical limitations. The software simulation model helps to analyze the performance of PV modules, and more useful would be a general circuit model that can be used to test any commercial PV module. This paper presents a simulation of a mathematical model of a photovoltaic module that boosts a DC / AC converter and also simulates the operating modes of a solar generating system at various load characteristics. The model presented in this article can be used as a generalized PV module to analyze the performance of any commercially available PV module. In the presented work, the parameters that affect the performance of the generating system were investigated. The results were obtained for the operation of DC/AC photoelectric converters. The presented characteristics strongly depend on such parameters as solar insolation, the temperature of the working surface of the photovoltaic module, the charge-discharge time of storage batteries, etc. When one of the values of these parameters changes, the operating modes of the solar power generating battery change. Changing the operating modes can lead to malfunctions of the entire operation of the system, therefore, it is necessary to control all the energy characteristics of the installation. The actions proposed in this work aimed at studying the operation of the photovoltaic system and the energy storage system, as well as the use of the necessary auxiliary devices for monitoring and controlling the parameters of the installation, are capable of achieving an increase in the efficiency of the generation of the system. The studies carried out in the course of the presented work make it possible to increase the level of knowledge on the control and management of the parameters of photovoltaic generating plants and expand the possibilities of their uninterrupted operation and increase energy production.

**Subject of study.** Analyze and verify the performance of photovoltaic modules

**Materials and methods.** Materials and methods. In the work, the implementation of an experimental installation for a photovoltaic power system with a DC converter was carried out to test the system performance and study the current computer simulation of the parameters of an integrated solar photovoltaic generation system using the Matlab software environment, as well as methods of theoretical analysis, mathematical and statistical methods necessary for processing the research materials.

**Results.** optimize the operation of photovoltaic systems and increase their efficiency,

**Findings.** Based on the results, it can be concluded that the efficiency of solar installations with similar Simulink block libraries can be increased, which makes it easy to simulate and analyze in combination with power electronics to operate the system at maximum power. Taking into account the influence of solar radiation and cell temperature on the output current and power characteristics of the modules, using the proposed model it is possible to significantly increase the efficiency of the entire installation.

**Key words:** Autonomous photovoltaic system, Matlab / Simulink software, photovoltaic panels, storage battery, controller, load, temperature, system power capacity, solar generating unit.



## ТРАНСЛЯЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОДНОКОНТУРНЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ КУПОЛОВ ИЗ ARCHICAD В НЕЙТРАЛЬНЫЙ STEP ФОРМАТ

Лахов А.Я.<sup>1</sup>, Лахов К.А.<sup>2</sup><sup>1</sup> Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Нижний Новгород, Ильинская ул., 65, alakhov99@gmail.com<sup>2</sup> Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
г. Нижний Новгород, просп. Гагарина, 23, корп. 1, kirill.9992@gmail.com

**Аннотация.** Представлено описание методов обмена информацией между CAD и CAE системами. Первый метод - с использованием прямой трансляции, второй метод – с использованием нейтральных форматов. Приведено описание модульной системы GeoTran проектирования и расчета на прочность и устойчивость одноконтурных и двухконтурных геодезических оболочек. Прямая трансляция геометрических моделей из ArchiCAD в Patran/Nastran/Dytran имеет недостаток, заключающийся в необходимости разработки трансляторов для каждой схемы обмена данными. Предложено реализовать трансляцию геометрических моделей в нейтральный STEP формат, при которой уменьшается количество необходимых трансляторов. Отмечено, что STEP формат распознается различными CAE системами, реализующими метод конечных элементов (Autodesk Mechanical Desktop, Bentley Microstation, CATIA V4, CATIA V5, MSC Patran/Nastran, UGS PLM Solutions NX). Приведены результаты изучения характеристик форматов OBJ, используемого для сохранения геометрической модели в CAD системе ArchiCAD, и STEP формата, используемого для обмена данными с CAE системами. Разработан транслятор геометрических моделей одноконтурных геодезических оболочек из ArchiCAD в STEP формат на языке программирования Visual Basic. При этом применялся синтаксически ориентированный подход. Транслятор имеет графический интерфейс пользователя, облегчающий его применение. Транслятор позволяет автоматизировать обмен информацией между CAD системой ArchiCAD и различными CAE системами, предназначенными для прочностных расчетов и поддерживающими импорт из STEP формата. В качестве примера, выполнена проверка применимости транслятора для обмена данными о геометрических моделях одноконтурных геодезических куполов с треугольными пластинами между ArchiCAD и программой конвертером Delcam Exchange. Продемонстрировано, что файл STEP формата, генерируемый транслятором OBJSTEPTranslator, распознается внешней программой.

**Ключевые слова:** обмен данными между CAD и CAE системами, нейтральный файл, форматы STEP и OBJ, геодезические оболочки, трансляция геометрических моделей.

**ВВЕДЕНИЕ**

Геодезические купола – это разновидность сферических куполов, которые при разбивке сферы на элементы используют только геодезические линии, т.е. линии большого круга. Различают одноконтурные геодезические купола, состоящие из пластин различной формы, и двухконтурные геодезические купола, в которых к пластинчатому контуру добавляется второй стержневой контур [1]. Для вычисления параметров разбивки больших геодезических куполов с большими частотами применяется ряд известных программных средств.

В настоящее время широко применяются CAD системы при проектировании строительных объектов. Например, зарубежные (ArchiCAD, AutoCAD, Revit) и российские (КОМПАС, bCAD, T-FLEX CAD). Для прочностных расчетов строительных объектов используются мощные CAE комплексы. Например, зарубежные (Nastran, Ansys, DesignSpace) и российские (APM Civil Engineering, T-FLEX Анализ, nanoCAD Механика).

В ННГАСУ разработана CAD-CAE система модульного типа, ориентированная на библиотеку Geodome Library[2] – сферических оболочек с геодезической разбивкой на элементы,

предназначенная для проектирования геодезических куполов классической разбивки и расчета геодезических куполов в Patran/Nastran/Dytran на различные виды воздействий (расчеты на собственный вес, снеговую, ветровую и взрывную нагрузки методом конечных элементов) [3]. Для прочностных расчетов кристаллических куполов используют и метод конечных разностей [4].

Обмен информацией между системой проектирования ArchiCAD и системой расчета на прочность MSC Software Patran/Nastran основывается на прямой трансляции по схеме OBJ – SES файл препроцессора Patran [5]. При этом для выполнения прочностных расчетов можно использовать только одну расчетную систему – Patran/Nastran.

Для обеспечения возможности выполнения прочностных расчетов в других расчетных системах обмен данными о геометрических моделях между CAD и CAE системами может быть основан на использовании промежуточного нейтрального формата (например, DXF [6] или STEP [7]). В этом случае уменьшается число необходимых трансляторов для обмена данными между CAD и CAE системами (См. Рис.1.).

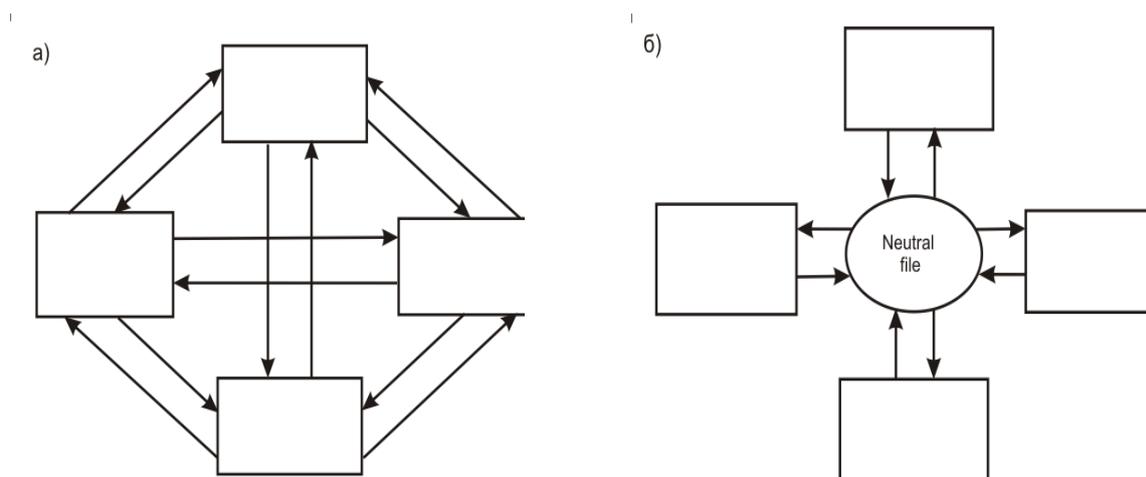


Рис. 1. Схема обмена данными между CAD и CAE системами: а) прямая трансляция, б) трансляция с нейтральным файлом.

Fig. 1. Data exchange scheme between CAD and CAE systems: a) direct conversion, b) conversion with a neutral file.

Существует различные нейтральные форматы (универсальные форматы обмена данными между информационными системами): форматы институтов стандартов (IGES, STEP), форматы графических систем (ACIS – SAT, Parasolid), форматы специализированных приложений (STL, VRML, VDAFS).

Формат STEP поддерживается большим количеством производителей ПО (Autodesk Mechanical Desktop, Bentley Microstation, CATIA V4, CATIA V5, MSC Patran/Nastran, UGS PLM Solutions NX) [8]. Поэтому использование STEP в качестве нейтрального формата может значительно повысить универсальность данной системы проектирования и расчета геодезических куполов.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

По нейтральному STEP формату имеется большое количество публикаций. Их можно разделить на ряд направлений: 1) работы об особенностях STEP формата, 2) сравнение форматов IGES и STEP, 3) обмен данными между CAD/CAE системами с использованием STEP формата, 4) дальнейшее развитие STEP формата (учет характеристик, параметров и ограничений).

К первому направлению относится работа Feeneu A. В. И др. [9], в которой говорится о STEP формате как международном стандарте для обеспечения обмена данными между различными компьютерными системами. В работе Marjudi S. и др. [10] говорится, что STEP основан на принципах: 1) сохранения данных о всем жизненном цикле продукта, 2) хранения данных в модели прикладного уровня отдельно от общей информации о форме, 3) использования формального языка для определения структур данных (EXPRESS).

Ко второму направлению относится работа Bhandarkar M. P. [11] в которой рассматривается проблема конвертирования 3D данных из IGES в STEP формат в соответствии с протоколом AP202. В документе [12] приводится спецификация IGES

формата. В работе Marjudi S. и др. [10] говорится, что структура и топология геометрии в STEP такая же как в IGES.

К третьему направлению относится работа Shin Y. И др. [13], в которой рассказывается об интеграции гетерогенных CAD баз данных через интернет с использованием формата STEP. В работе Spitzu S. и др. [14] говорится о двух парадигмах обмена информацией: 1) геометрической парадигме, 2) параметрической парадигме. При использовании граничного представления тел (Brep) объект может переходить из исходной системы в целевую в формате STEP.

К четвертому направлению относится работа Marchenko M.И др. [15], в которой говорится о новом методе извлечения и визуализации всей параметрической информации в 3D CAD моделях, STEP формат используется для обмена информацией о 3D моделях. В работе Pratt M. J. и др. [16] говорится о современных работах по расширению формата STEP для учета параметризованных моделей с геометрическими ограничениями, при этом выделяется два направления: 1) добавление дополнительных типов данных, 2) обмен данными в процедурном виде, т.е. в виде последовательности команд конструирования.

## МЕТОД ТРАНСЛЯЦИИ В STEP ФОРМАТ

STEP (STandard for the Exchange of Product model data) формат основан на модели ссылок, которая приводит к ряду тематических моделей, формально определенном языке EXPRESS и структуре файла STEP. Для использования языка EXPRESS применяют прикладные протоколы (AP), которые определяют представление информации о продуктах для приложений. Может хранить информацию о геометрии и дополнительную информацию о характеристиках продуктов [11].

Файл STEP состоит из 2 частей – HEADER и DATA [10]. Структура файла STEP содержит основные сущности для обмена информацией.

Каждая определенная сущность характеризуется набором атрибутов, которые могут быть значениями определенных типов. STEP файл состоит из набора экземпляров определенных типов. Каждый экземпляр имеет уникальный идентификатор – целое число с предшествующим символом #. Каждый экземпляр состоит из имени типа (в верхнем регистре), скобки, списка значений атрибутов, определяющего этот экземпляр и закрывающейся скобки. Если атрибуты имеют

простые типы, то они задаются явно (real, integer, ...). Некоторые атрибуты могут иметь значение, определенное в другом экземпляре данного файла, в этом случае они определяются через идентификатор. Например, неограниченная линия может определяться в терминах точки и направления [17].

Например, треугольная грань может быть представлена так [18]:

```
#2359144 = FACE_SURFACE(",(#2359150),#2359145,.T.);
#2359145 = PLANE(",#2359146);
#2359146 = AXIS2_PLACEMENT_3D(",#2359147,#2359148,#2359149);
#2359147 = CARTESIAN_POINT(",(6.525690078735,4.408679962158, -11.11690044403));
#2359148 = DIRECTION(",(0.238627661246,-0.89478112513,0.377390483981));
#2359149 = DIRECTION(",(-0.964060798003,-0.171531943693,0.202888072708));
#2359150 = FACE_OUTER_BOUND(",#2359151,.T.);
#2359151 = POLY_LOOP(",(#2359152,#2359153,#2359154));
#2359152 = CARTESIAN_POINT(",(6.525690078735,4.408679962158, -11.11690044403));
#2359153 = CARTESIAN_POINT(",(6.107540130615,4.334280014038, -11.02890014648));
#2359154 = CARTESIAN_POINT(",(6.103960037231,4.317719936371, -11.06589984893));
```

Прикладные протоколы AP применимы к отдельному классу продуктов. В них на языке EXPRESS описаны модели данных, применимые в различных областях, например AP214 (ядро данных для автомобильной промышленности) или AP203 (конструкция с управляемой конфигурацией). В AP203 описана передача твердых тел. В CAD-системах трансляторы, обычно, поддерживают подмножество AP214, которое совпадает с AP203 [19]. AP203 предназначен для передачи формы моделей продуктов. Форма моделей продуктов в AP203 есть явная параметрическая модель граничного представления связанных типов.

**OBJ** – является текстовым форматом, который представляет только 3D геометрические объекты в виде граней. Грани определяются положением каждой вершины, текстурой, связанной с вершиной, нормалью в каждой вершине. Вершина в файле OBJ формата задается символом v, после которого идут три числа обозначающие расположение точки в пространстве (Ox, Oy, Oz). Грань в файле формата OBJ задается символом f, обозначающим, что далее идет описание грани в виде последовательности индексов вершин (не менее трех).

Например, треугольная грань может быть задана так:

```
v 0.342 0.222 0.423
v 0.342 0.444 0.423
v 0.555 0.222 0.423
f 1 2 3
```

## РЕАЛИЗАЦИЯ ТРАНСЛЯТОРА OBJSTEP

Используя характеристики форматов OBJ и STEP был разработан транслятор геометрических моделей геодезических оболочек на языке программирования Visual Basic 2017, читающий геометрическую модель в OBJ формате и генерирующий геометрическую модель в STEP формате. Был использован синтаксически ориентированный подход: выделение структуры входной последовательности символов и выполнение семантических действий при распознавании определенных нетерминалов [20].

Алгоритм работы программы-транслятора геометрических моделей начинается с открытия OBJ файла. Далее выполняется инициализация переменных, которые будут использоваться в программе в дальнейшей работе. Среди этих переменных объявляется объект StreamWriter, который будет записывать построчно данные в STEP-файл. Далее, считываются координаты вершин и индексы граней, выполняется запись координат вершин и индексов граней в соответствующие структуры, объявленные в программном коде.

На следующем этапе выполняется формирование заголовка STEP-файла (HEADER), который содержит, в том числе, используемый протокол, имя автора, время и т.д. Далее идет формирование основной части step-файла (DATA). Первые строчки заполняются общей информацией. В том числе, устанавливается цвет, система координат и т.д.

Далее выполняется перебор массивов с объектами, содержащими координаты вершин, инициализируются вершины в STEP-файле. На следующем шаге выполняется перебор двумерного массива, содержащего первым ключом номер грани, вторым - номер вершины. В самом массиве хранятся

индексы вершин, которые образуют данную грань. Результатом перебора данного двумерного массива станет заполнение STEP-файла ключевыми словами для создания плоскостей, добавлении линий, вычисления нормали и создании поверхности в STEP-файле.

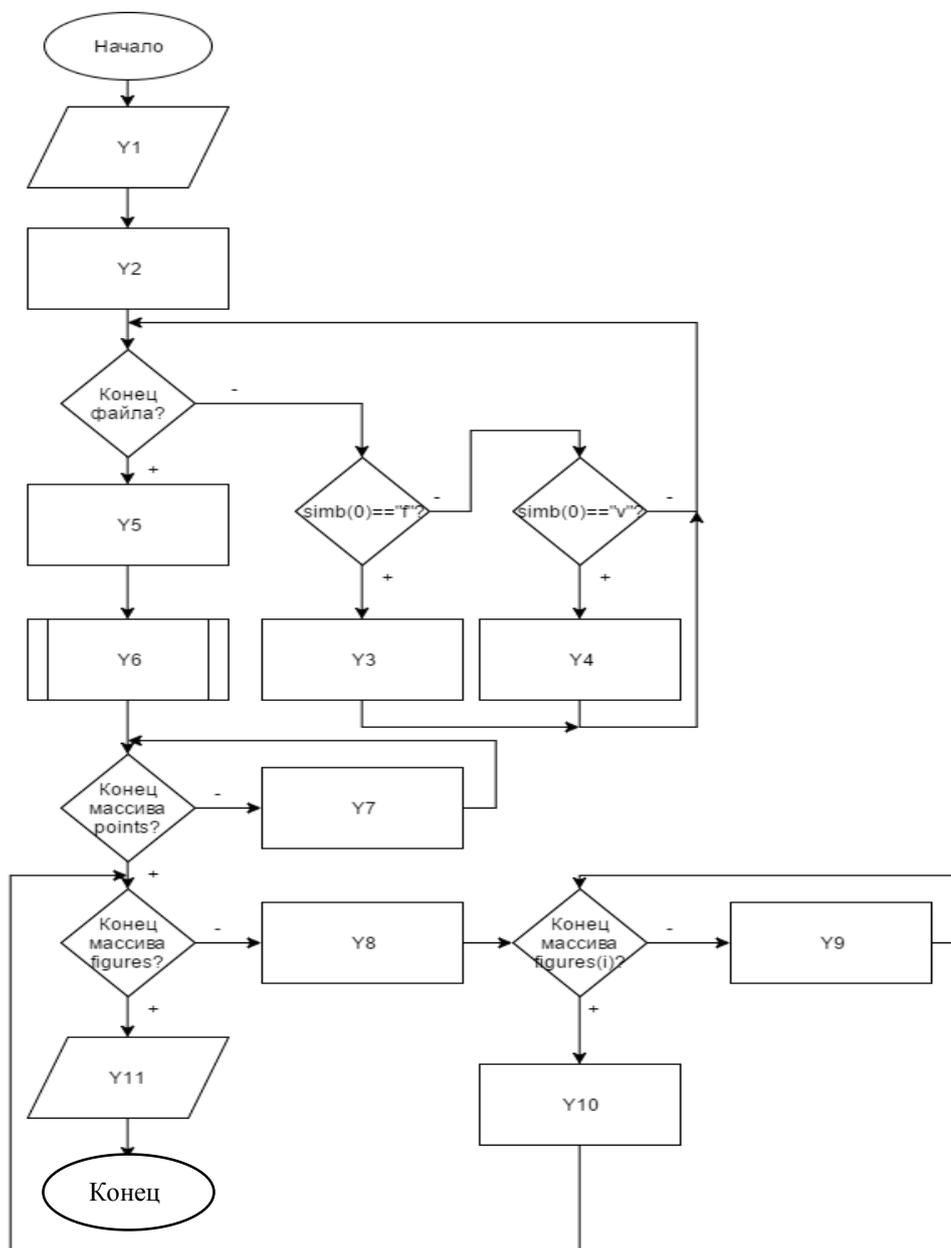


Рис. 2. – Блок-схема программы-транслятора  
 Fig. 2. Chart-diagram of the translator program

В завершении, добавляется указание на конец STEP-файла, закрываются все потоки.

Общий алгоритм программы-транслятора приведен в виде блок-схемы на рис. 2 и табл. 1, содержащей семантические правила.

**Таблица 1.** Семантические правила  
**Table 1.** Semantic rules

№	Содержание правила
Y1	Открытие .obj-файла
Y2	Объявление и инициализация переменных, массивов и потока на запись файла
Y3	Заполнение двумерного массива figures, в котором хранятся номера вершин, принадлежащих этой поверхности.
Y4	Создание объекта класса Point, содержащего координаты, считанные из вершины .obj файла. Добавление созданного объекта в лист points.
Y5	Инициализация переменной cur. Служит для глобального обозначения номера текущей строки в STEP файле.
Y6	Вызов процедуры добавления заголовка в STEP файл. Вызов процедуры добавления технической информации в STEP файл. Аргументами передается ссылка на поток записи.
Y7	Добавление вершин в STEP файл. Добавление объекта класса Vertex. Инициализация координатами из объекта Point. Добавление созданного объекта в список, содержащий объекты класса Vertex
Y8	Инициализация списка, содержащего объекты класса Line.
Y9	Добавление в STEP файл линии и сопровождающей её информации. Используется процедура AddLine.
Y10	Добавление поверхности и сопровождающей её информации.
Y11	Добавление окончания STEP файла. Закрытие созданного STEP файла. Вывод информации об окончании трансляции.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

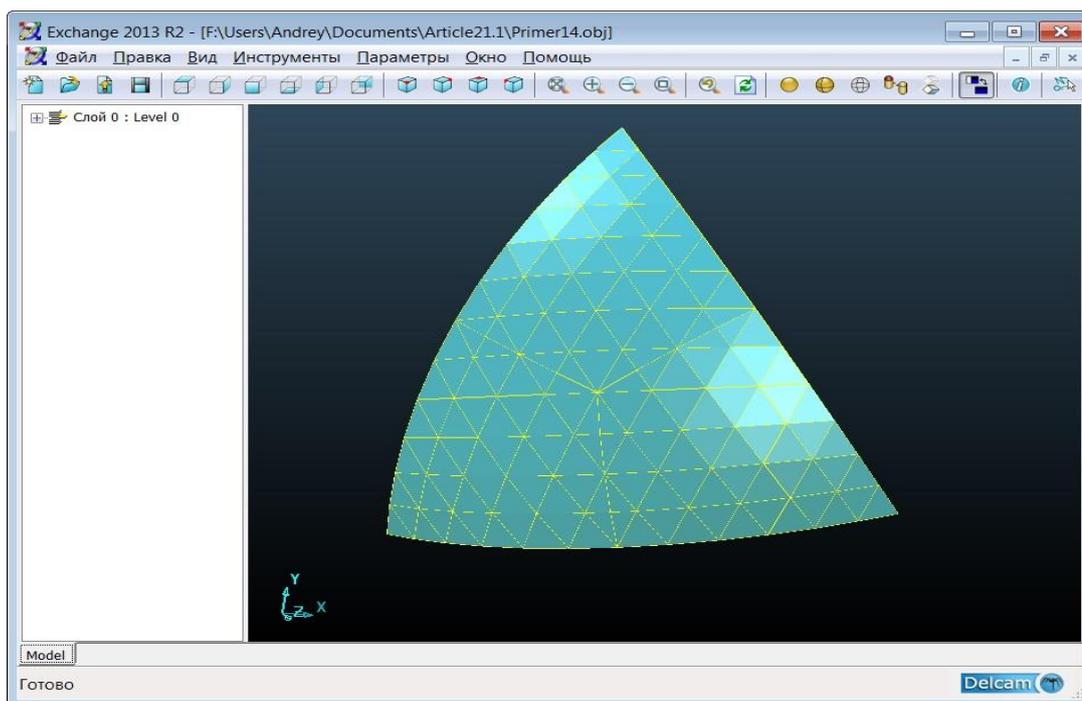
Технология использования транслятора OBJSTEPTranslator предполагает следующие этапы:

1) создание исходной геометрической модели в ArchiCAD,

2) сохранение созданной модели в OBJ формате (см. Рис. 3),

3) конвертирование модели с помощью программы OBJSTEPTranslator (см. Рис. 4),

4) проверка полученного файла STEP формата (см. Рис. 5).



**Рис. 3.** Исходная геометрическая модель OBJ формата.

**Fig. 3.** The original geometric model of the OBJ format.



Рис. 4. Графический интерфейс пользователя OBJSTEPTranslator.  
Fig.4. OBJSTEPTranslator Graphical User Interface

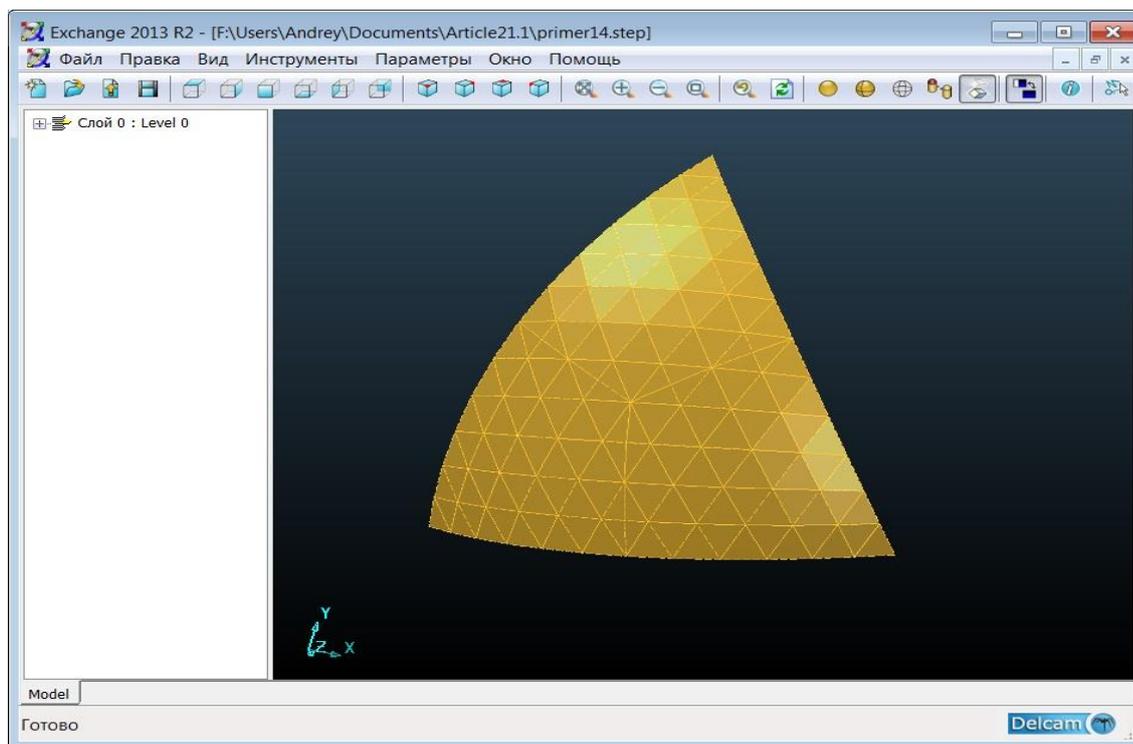


Рис. 5. Результирующая геометрическая модель STEP формата.  
Fig. 5. The resulting geometric model of the STEP format.

Для реализации 3 этапа необходимо запустить программу OBJSTEPTranslator и выполнить следующие действия. При нажатии на кнопку «Открыть .obj-файл» открывается диалог выбора файла в проводнике. После выбора файла программа рассчитает количество точек и поверхностей, содержащихся в .obj файле и выведет их значения в соответствующих полях. В поле .obj-файла появится полный путь к исходному файлу. После открытия .obj файла кнопка для сохранения

.step файла становится активной. После нажатия на нее пользователь перемещается в диалог для выбора пути сохранения файла в .step формате. После выбора, путь к step-файлу появляется в соответствующем поле интерфейса программы и активируется кнопка трансляции. При нажатии на эту кнопку запускается трансляция и, после её завершения, пользователь оповещается об успешной трансляции с помощью диалогового окна с информацией.

## ВЫВОДЫ

Представлено описание методов обмена информацией между CAD и CAE системами. Приведено описание модульной системы проектирования и расчета на прочность геодезических оболочек GeoTran. Указано, что прямая трансляция геометрических моделей из ArchiCAD в Patran/Nastran/Dytran имеет недостатки. Предложено реализовать трансляцию геометрических моделей в нейтральный STEP формат. Изучены форматы обмена данными OBJ и STEP. Разработан транслятор OBJ формат - STEP формат на языке VisualBasic. Поставленная задача – разработка транслятора OBJSTEPTranslator решена. Данный транслятор позволяет автоматизировать обмен информацией между CAD системой ArchiCAD и различными CAE системами, предназначенными для прочностных расчетов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов Г.Н. Автоматизация архитектурного проектирования геодезических куполов и оболочек: Монография / Г.Н. Павлов, А.Н. Супрун. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2006, 162 с.
2. Лахов А.Я. База данных GEOD библиотечных объектов ArchiCAD геодезических куполов // Труды научно-практической конференции 15 Архитектурно-строительного форума. 2017, Нижний Новгород, С. 42-45.
3. Лахов А.Я. Система проектирования и расчета геодезических куполов с открытой архитектурой: Монография / А.Я. Лахов. - Воронеж, 2015, 150 с.
4. Скуратов С.В., Скидан А.А., Кеворков А.Э. Расчет треугольных обшивок многогранных сетчатых куполов // Строительство и техногенная безопасность. № 15(67) – 2019 С. 21-24.
5. Лахов А.Я. Трансляция геометрических моделей двухконтурных геодезических оболочек // Инженерный вестник Дона. Электрон. журн. 2013, № 3. Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1805> (дата обращения 12.05.2021)
6. Крысько А.А. Геометрическое и компьютерное моделирование криволинейных поверхностей мембранных покрытий на прямоугольном плане // Строительство и техногенная безопасность №18(70) – 2020 С. 97-106.
7. Rappoport A. An architecture for universal CAD data exchange. SM'03, June 16-20, 2003, Seattle, Washington, USA, - pp.266-269.
8. STEP-application-handbook-63006-PDES-Inc.pdf URL: <https://www.scribd.com/doc/155451229/STEP-Application-Hdbk-63006-BF>. 181 p.
9. Feeney A. B., Price D. M. Modular architecture for STEP. National Institute of Standards and Technology. pp. 1-7.

10. Marjudi S., Amran M. F. M., Abdullah K. A., Widyarto S., Majid N. A. A., Sulaiman R. A Review and Comparison of IGES and STEP. World Academy of Science, Engineering and Technology 62 2010, pp. 1013-1017.

11. Bhandarkar M. P., Downie B., Hardwick M., Nagi R. Migrating from IGES to STEP: one to one translation of IGES drawing to STEP drafting data. Computers in Industry 41 2000. pp. 261–277.

12. Initial Graphics Exchange Specification 5.3 US PRO. 650 p.

13. Shin Y., Han S.-H., Bae D.-H. Integrated of heterogeneous CAD databases using Step and internet. June 200. Decision support Systems 28(4) pp. 365-379.

14. Spitzky S., Rappoport A. Integrated Feature-Based and Geometric CAD Data Exchange. ACM Symposium on Solid Modeling and Applications (2004) G. Elber, N. Patrikalakis, P. Brunet (Editors) pp. 1-8.

15. Marchenko M., Behrens B.-A., Wrobel G., Scheffle R., Plesow M. A New Method of Visualization and Documentation of Parametric Information of 3D CAD Models. Computer-Aided Design & Applications, 8(3), 2011, pp. 435-448.

16. Pratt M. J., B. D. Anderson A shape modelling applications programming interface for the STEP standard. Computer-Aided Design 33 (2001) pp. 531-543.

17. J. Kim, M. J. Pratt, R. G. Iyer, R. D. Sriram Standardized data exchange of CAD models with design intent. Computer-aided design 40(7) July 2008 pp. 760-777.

18. STEPFiles (.stp) URL: [paulbourke.net/dataformats/step/](http://paulbourke.net/dataformats/step/)

19. Pratt, M. J. 2001. Introduction to ISO 10303 — the STEP standard for product data exchange, ASME J. Computing & Information Science in Engineering. March, 2001, pp. 102 – 103.

20. Карпов Ю.Г. Теория и технология программирования. Основы построения трансляторов. СПб: БХВ-Петербург – 2005, 272 с.

## REFERENCES

1. Pavlov G. N. Avtomatizaciya arhitekturnogo proektirovaniya geodezicheskikh kupolov i obolochek [Automation of architectural design of geodesic domes and shells] / G. N. Pavlov, A. N. Suprun. – N. Novgorod: NNGASU, 2006, -162 p. (In Russian).
2. Lakhov A. Y. GEOD database of library objects ArchiCAD of geodesic domes. Proceedings of the scientific and practical conference of the 15th Architectural and Construction Forum. 2017, Nizhny Novgorod, pp. 42-45. (In Russian).
3. Lakhov A. Y. Sistema proektirovaniya i rascheta geodezicheskikh kupolov s otkrytoj arhitekturoj [System of design and analysis of geodesic domes with open architecture] / A. Y. Lakhov, Voronezh, 2015. 150 p. (In Russian).
4. Skuratov S. V., Skidan A. A., Kevorkov A. E. Calculation of triangular coverings of polyhedral mesh domes. Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. No. 15 (67) - 2019 pp. 21-24. (In Russian).

5. Lakhov A. Y. Translation of geometric models of double-contour geodesic shells. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2013, No. 3. <http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1805> (date of access 12.05.21). (In Russian).
6. Krysko A. A. Geometric and computer modeling of curved surfaces of membrane coatings on a rectangular plan. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*. No. 18 (70) - 2020 pp. 97-106. (In Russian).
7. Rappoport A. An architecture for universal CAD data exchange. SM'03, June 16-20, 2003, Seattle, Washington, USA, - pp.266-269.
8. STEP-application-handbook-63006-PDES-Inc.pdf URL: <https://www.scribd.com/doc/155451229/STEP-Application-Hdbk-63006-BF>. 181 p.
9. Feeney A. B., Price D. M. Modular architecture for STEP. *National Institute of Standards and Technology*. pp. 1-7.
10. Marjudi S., Amran M. F. M., Abdullah K. A., Widyarto S., Majid N. A. A., Sulaiman R. A Review and Comparison of IGES and STEP. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 62 2010, pp. 1013-1017.
11. Bhandarkar M. P., Downie B., Hardwick M., Nagi R. Migrating from IGES to STEP: one to one translation of IGES drawing to STEP drafting data. *Computers in Industry*. 41 2000. pp. 261–277.
12. Initial Graphics Exchange Specification 5.3 US PRO. 650 p.
13. Shin Y., Han S.-H., Bae D.-H. Integrated of heterogeneous CAD databases using Step and internet. *June 200. Decision support Systems* 28(4) pp. 365-379.
14. Spitzzy S., Rappoport A. Integrated Feature-Based and Geometric CAD Data Exchange. *ACM Symposium on Solid Modeling and Applications (2004)* G. Elber, N. Patrikalakis, P. Brunet (Editors) pp. 1-8.
15. Marchenko M., Behrens B.-A., Wrobel G., Scheffle R., Plesow M. A New Method of Visualization and Documentation of Parametric Information of 3D CAD Models. *Computer-Aided Design & Applications*, 8(3), 2011, pp. 435-448.
16. Pratt M. J., B. D. Anderson A shape modelling applications programming interface for the STEP standard. *Computer-Aided Design*. 33 (2001) pp. 531-543.
17. J. Kim, M. J. Pratt, R. G. Iyer, R. D. Sriram Standardized data exchange of CAD models with design intent. *Computer-aided design* 40(7) July 2008 pp. 760-777.
18. STEPFiles (.stp) URL: [paulbourke.net/dataformats/step/](http://paulbourke.net/dataformats/step/)
19. Pratt, M. J. 2001. Introduction to ISO 10303 — the STEP standard for product data exchange, *ASME J. Computing & Information Science in Engineering*. March, 2001, pp. 102 – 103.
20. Karpov Yu. G. *Teoriya i tekhnologiya programmirovaniya. Osnovy postroeniya translyatorov [Theory and technology of programming. Fundamentals of building translators]*. Saint Petersburg: BHV-Petersburg-2005- 272 p. (In Russian).

## TRANSLATION OF GEOMETRIC MODELS OF SINGLE-CONTOUR GEODESIC DOMES FROM ARCHICAD TO A NEUTRAL STEP FORMAT

Lakhov A.Y. <sup>1</sup>, Lakhov K.A. <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering,  
65 Ilinskaya str., Nizhny Novgorod, e-mail– alakhov99@gmail.com

<sup>2</sup> Lobachevsky National Research State University of Nizhny Novgorod,  
Nizhny Novgorod, 23 Gagarina ave., bldg. 1, e-mail– kirill.9992@gmail.com

**Abstract.** The methods of data exchange between CAD and CAE systems are described. The first method is using direct conversion; the second method is using neutral formats. The description of the modular system for designing and analysis the strength and stability of single-contour and double-contour geodesic shells GeoTran is given. The direct translation of geometric models from ArchiCAD to Patran/Nastran / Dytran has the disadvantage of having to develop translators for each data exchange scheme. It is proposed to implement the translation of geometric models in a neutral STEP format, which reduces the number of required translators. It is noted that the STEP format is recognized by various CAE systems that implement the finite element method (Autodesk Mechanical Desktop, Bentley Microstation, CATIA V4, CATIA V5, MSC Patran/Nastran, UGS PLM Solutions NX). The characteristics of the OBJ format used for storing a geometric model in the ArchiCAD CAD system and the STEP format used for data exchange with CAE systems are studied. A translator of geometric models of single-contour geodesic shells from ArchiCAD to STEP format in the Visual Basic programming language has been developed. For this purpose a syntactically oriented approach was used. The translator has a graphical user interface that makes it easier to use. The translator allows you to automate the exchange of data between the ArchiCAD CAD system and various CAE systems designed for strength analysis and supporting import from the STEP format. The applicability of the translator for the exchange of data on geometric models of single-contour geodesic domes with triangular plates between ArchiCAD and the Delcam Exchange converter program is verified. It is demonstrated that the STEP file format generated by the OBJSTEPTranslator is recognized by an external program.

**Key words:** data exchange between CAD and CAE systems, neutral file, STEP and OBJ formats, geodesic shells, translation of geometric models.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДА ГАРАНТИРОВАННОЙ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СХЕМЫ НА ОСНОВЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

### ЧАСТЬ 1. Анализ эксплуатационных отказов насосных агрегатов и определение их показателей надежности

Николенко И.В.<sup>1</sup>, Котовская Е.Е.<sup>1</sup>, Будчаный А.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Академия строительства и архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»  
295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская 181  
e-mail: energia-09@mail.ru

<sup>2</sup> ООО «Н<sub>2</sub>O-Крым»  
295542, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Залесская, 41  
e-mail: fantikraft@mail.ru

**Аннотация.** В статье представлены значения интенсивности отказов для современных марки насосов четырех групп: погружные, предназначенные для отвода дренажных и сточных вод; бытовые; консольные; погружные - для забора артезианских вод на основе статистической обработки данных по их эксплуатации. Полученные величины интенсивности отказов позволяют оценивать показатели надежности гидравлических схем, в которых применяется различные типы насосного оборудования. Проанализированы отказы насосного оборудования с их детальным описанием и представлением практических фотографий, накопленных на специализированном предприятии, деятельность которого направлена на проектирование и эксплуатацию насосных станций, поставку, монтаж и сервисное обслуживание насосного оборудования на территории Республики Крым.

**Предмет исследования.** Закономерности возникновения, характер и виды отказов насосных агрегатов систем водоснабжения и водоотведения в условиях эксплуатации с разработкой аналитических и статистических моделей оценки их надежности.

**Материалы и методы исследования:** Информация по отказам и наработке на отказ насосных агрегатов систем водоснабжения и водоотведения в условиях эксплуатации для определения характеристик надежности на основе обработки баз данных методами математической статистики, для последующего анализа и разработки рекомендаций по проектированию и эксплуатации гидравлических систем.

**Результаты.** Повышение эффективности работы насосных агрегатов систем водоснабжения и водоотведения за счет выявления реальных показателей надежности насосного оборудования,

**Выводы.** По результатам выполненного анализа установлены основные причины, формирующие базу отказов насосного оборудования, с выявлением преобладающих причин их возникновения: эксплуатационные, конструкционные или же ошибка проектировщика. Выполнена оценка параметров надежности для четырех групп насосного оборудования реализуемого на территории Республики Крым.

**Ключевые слова:** Отказ, насосное оборудование, время наработки на отказ, безотказность, частота отказов, гидравлическая схема, показатели надежности, интенсивность отказов, количественная оценка, границы гарантированной работы, доверительный интервал, кавитация.

## ВВЕДЕНИЕ

Насосные агрегаты в системах водоснабжения и водоотведения (СВВ) являются важнейшими элементами, которые своими параметрами и характеристиками определяют технический уровень этих систем в целом. В настоящее время на рынке насосного оборудования (НО) для СВВ устойчиво занимают лидирующие позиции фирмы производители, к которым относятся: *KSB, Willo*, (Германия); *Calpeda, Lowara, Pedrollo* (Италия), *Grundfos* (Дания), группа компаний «ГИДРОМАШСЕРВИС» (Россия), а также некоторые другие. При подготовке проектной и рабочей документации для СВВ на основе разработки комплекса технических и технологических решений выбор НО обосновывается соответствием параметров рабочих характеристик условиям эксплуатации. Одним из важнейших показателей качества по обеспечению

эффективной и длительной эксплуатации НО является его надежность, как комплексного свойства сохранять во времени, в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. К сожалению, многие производители НО в паспортных характеристиках не указывают всех показателей надежности, ограничиваясь только показателями долговечности. Определение показателей надежности НО требует сбора, статистической обработки данных по отказам, по наработке, времени безотказной работы и восстановления в эксплуатационных условиях для последующего анализа и разработки рекомендаций.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Изучению закономерностей возникновения, характера и видов отказов элементов СВВ с разработкой аналитических и статистических моделей оценки надежности посвящены работы известных ученых: Н.Н. Абрамова, Ю.М. Кузьмина, Н.А. Украинца, В.Г. Новохатнего, О.Г. Примина, В.С. Макогонова, Ю.А. Пемова, Л.Г. Дерюшева, Г.П. Небольсина, А.Д. Сабитова, Ю.А. Ильина, А.А. Ионина, И.И. Науменко, Ю.А. Ясина и др. Показатели надежности НО, представленные в этих работах, были основаны на статистическом анализе отказов в основном на данных эксплуатации отечественного оборудования на крупных насосных станциях СВВ в конце прошлого века. В настоящее время на рынке НО значительно расширился круг производителей, поставщиков, а также существенно изменились условия его эксплуатации. Известные научные подходы позволяют адекватно получать модели и характеристики показателей надежности НО. Однако показатели надежности для большинства современных насосных агрегатов в настоящее время требуют уточнения, как по условиям эксплуатации, так и по конкретным типам, моделям и типоразмерам, в связи с существенным увеличением видов применяемого НО, в том числе зарубежного производства. Необходимость получения показателей для современного НО, с учетом изменившихся условий эксплуатации, определило актуальность выбранного направления исследования, предназначенного для повышения качества работы насосных агрегатов в СВВ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа выполнялась на основе обращения в Академию строительства и архитектуры Крымского Федерального университета им. В.И. Вернадского (г. Симферополь) коммерческого предприятия – компании «Н<sub>2</sub>О-Крым» по оказанию помощи в определении показателей эксплуатационной надежности НО. Компания ООО «Н<sub>2</sub>О-Крым», работает на рынке НО Республики Крым более 20-ти лет. Основными видами ее деятельности являются поставка, продажа, монтаж, сервисное обслуживание НО, проектирование, монтаж систем водоподготовки и фильтрации воды, систем очистки канализационных стоков. ООО «Н<sub>2</sub>О-Крым» официальный дилер насосного оборудования как отечественного, так и импортного производства: торговых марок SPRUT, Rudes; (Китай); «Насосы плюс оборудование»; «Промэлектро» (Украина); «ГМС-групп» (РФ); Pedrollo (Италия) и др. Одел эксплуатации компании предоставил свои данные по отказам и наработке на отказ насосных агрегатов и другие рабочие материалы, с целью выявления характеристик надежности реализуемого НО и выполнения анализа показателей надежности проектируемых гидравлических схем. Результатом, выполненного анализа, стали рекомендации повышения эффективности разработанных проектов и выявления реальных показателей оборудования, поставляемого компаниями – партнерами производителями насосного оборудования. В таблице 1 перечислены наименования фирм производителей – партнеров ООО «Н<sub>2</sub>О-Крым», указаны соответствующие марки насосного оборудования в соответствии с целевым назначением.

Таблица 1. Фирмы-производители и марки реализуемого насосного оборудования  
Table 1. Manufacturers and brands of pump equipment sold

Виды реализуемого оборудования	Наименование фирм-производителей	Марки насосов
Погружные насосы для отвода дренажных вод	«Насосы плюс оборудование» (Украина)	Dsp 550
	SPRUT (Китай)	WQD 15-15-1,5; V180
	Pedrollo (Италия)	MC10/30; Top4; VX8/3
Консольные	«ГМС-групп» (Россия)	K50-32-125; K 65-50-160; K 80-65-160; K 80-65-160a; K 80-50-200; K150-125-315; K 100-65-200; K 150-125-315
	Pedrollo (Италия)	F 400-200
Бытовые	SPRUT (Китай)	MRS 3
	Pedrollo (Италия)	JSW 2ax; Pkm 60; CP190; JSR 10MX; PLURIJET 4/200
	Rudes (Китай)	JET 110b
	DAB (Италия)	qb 60
	Насосы плюс оборудование (Украина)	Срт 158; JEX 500
Погружные для отвода забора артезианских вод	«Промэлектро» (Украина)	Водолей 0,5-25
	«ГМС-групп» (Россия)	ЭЦВ 6-25-40
	Pedrollo (Италия)	4SR 4-18

В таблице 2 приведены паспортные данные по энергетическим характеристикам рассматриваемого насосного оборудования, а таблице 3 сводный журнал наблюдений отказов четырех групп НО, которые были поставлены потребителям ООО «Н<sub>2</sub>О-Крым».

**Таблица 2.** Энергетические характеристики НО  
**Table 2.** Energy characteristics of pumping equipment (PE)

Наименование характеристик	Погружные дренажные	Консольные	Бытовые	Погружные артезианские
Ресурс по паспорту (часов выработки/до кап. ремонта)	2500/6000	6000/32000	20000	6000/16000
Паспортный срок службы, лет	5	6	6	5
Развиваемый напор, м	5...38	10...160	30...140	15...340
Диапазон подач, м <sup>3</sup> /ч	8...150	4...120	3...30	1,5...80
Потребляемая мощность, кВт	0,5...6	1,5...84	0,3...5	0,4...34
КПД, %	46...62	36...65	48...68	51...64

**Таблица 3.** Сводный журнал наблюдений отказов НО  
**Table 3.** Summary log of PE failure observations

№ п/п	Модель, тип насоса	Дренажные	Консольные	Бытовые	Погружные
					
1	Поломка двигателя вследствие неправильной эксплуатации	83	34	168	201
2	Поломка торцевого уплотнения в результате наличия большого количества включений в воде	0	0	68	153
3	Деформация рабочего колеса, в результате воздействия кавитации	0	3	124	0
4	Диффузор и рабочее колесо – работа с песком	0	0	58	206
5	Торцевое уплотнение – работа без воды	48	0	68	40
6	Поломка двигателя вследствие неправильного подбора параметров	68	5	12	62
7	Поломка двигателя вследствие работы без стабилизатора в сети с пониженным (повышенным) напряжением	10	2	28	13
8	Выход из строя втулок и подшипников	32	19	50	68
9	Попадание воды в двигатель не через торцевое уплотнение	5	3	69	26
10	Выход из строя двигателя из-за не соблюдения технических требований	0	6	15	30
11	Суммарное количество возвратов на гарантийное обслуживание	246	72	660	799
Общее число насосов введенных в эксплуатацию		682	188	4500	3890

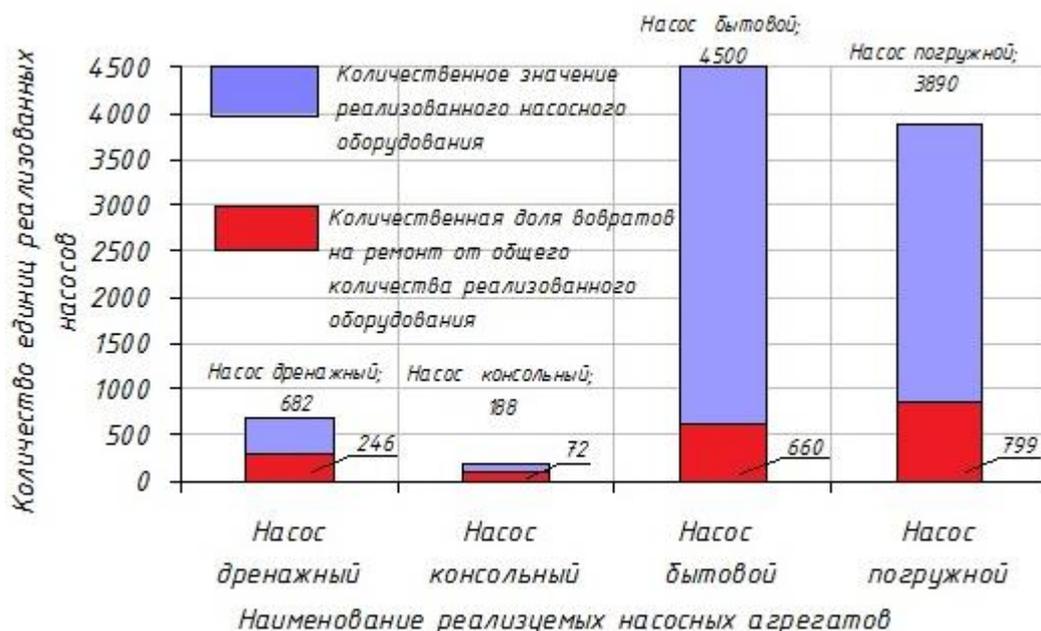
Информация по числу насосов, введенных в эксплуатацию и по их отказам приведена в таблице 3 и представлена графически на рис. 1.

Показатели безотказности [1-3] определялись по известным зависимостям:

$$Q(t) = \frac{n(t)}{N_0}, \quad (1)$$

$$P(t) = \frac{N_{oi} - n(t)}{N_0}, \quad (2)$$

где  $Q(t)$  – вероятность отказа;  
 $P(t)$  – вероятность безотказной работы;  
 $n(t)$  – число отказавших образцов за время  $t$ ;  
 $N_0$  – число однотипных видов оборудования, за которыми велось наблюдение в течение времени  $t$ .



**Рис. 1.** Гистограмма реализованного насосного оборудования компанией «Н<sub>2</sub>О-Крым» в течении 4-х лет с распределением по маркам насосного оборудования и указанием по группам количества возвратов на ремонт  
**Fig. 1.** Histogram of the pumping equipment sold by «Н<sub>2</sub>О-Crimea» for 4 years, with distribution by brand of pumping equipment and indication by group of the number of returns for repairs

В таблице 4 отображены результаты количественной оценки отказов и безотказности работы реализованного насосного оборудования компанией «Н<sub>2</sub>О-Крым».

**Таблица 4.** Сводные данные по отказам и безотказной работе насосного оборудования  
**Table 4.** Summary data on failures and uptime of the pumping equipment

Показатель	Тип насосов			
	Погружные дренажные	Консольные	Бытовые	Погружные артезианские
Вероятность наступления отказа	0,361	0,383	0,147	0,205
Вероятность безотказной работы	0,639	0,617	0,853	0,795

На рисунке 2 представлена гистограмма распределения отказов среди реализованных погружных насосов, предназначенных для отвода дренажных вод, построенная на основе анализа данных приведенных в таблице 3.



**Рис. 2.** Гистограмма распределения по группам отказов среди реализованных погружных насосов, предназначенных для отвода дренажных вод

**Fig. 2.** Histogram of the distribution by failure groups among the implemented submersible pumps designed for drainage water drainage

Проанализировав данные приведенные на рисунке 2 можно заключить, что среди отказов, возникающих при работе погружных насосов, предназначенных для перекачки дренажных вод, лидирующую позицию занимают отказы, вызванные поломкой двигателя в результате неправильной эксплуатации с частотой 0,34. Вторая позиция с частотой 0,28 принадлежит отказам, связанным с поломкой двигателя вследствие неправильного подбора параметров. Третья позиция (с частотой 0,2) – это поломки торцевого уплотнения из-за работы без воды. Четвертая позиция (с частотой 0,13) – выход из строя втулок и подшипников. Пятая позиция (с частотой 0,04) – поломка двигателя вследствие работы без стабилизатора сети с повышенным (пониженным) напряжением. Шестая позиция (с частотой 0,02) – поломка вызванная попаданием воды в двигатель не через торцевое уплотнение. Другие виды отказов соответствуют нулевым значением, по-видимому, это обусловлено конструктивными особенностями погружных насосов, а также качественным составом перекачиваемой среды.

На рис. 3 представлена гистограмма распределения отказов по видам среди

реализованных предприятием консольных насосов. Проанализировав данные приведенные на рисунке 3 можно сделать выводы, что среди отказов, возникающих при работе консольных насосов, лидирующую позицию занимают отказы, вызванные поломкой двигателя в результате неправильной эксплуатации с частотой 0,47. Вторая позиция (с частотой 0,26) – это поломки, связанные с выходом из строя втулок или подшипников. Третья позиция (с частотой 0,08) соответствует выходу из строя двигателя из-за несоблюдения технических требований. Четвертая позиция (с частотой 0,07) – поломка двигателя из-за неправильного подбора параметров. Пятую и шестую строку разделили между собой (с частотой 0,04) отказы, вызванные деформацией рабочего колеса в результате воздействия кавитации и отказы, вызванные попаданием воды в двигатель не через торцевое уплотнение. Седьмая позиция (с частотой 0,03) соответствует отказам, вызванным работой без стабилизатора напряжения в сети. Другие виды отказов соответствуют нулевым значением.



**Рис. 3.** Гистограмма распределения отказов среди реализованных консольных насосов  
**Fig. 3.** Histogram of the distribution of failures among the implemented cantilever pumps

На рис. 4 представлена гистограмма распределения отказов по видам среди реализованных предприятием бытовых насосов.



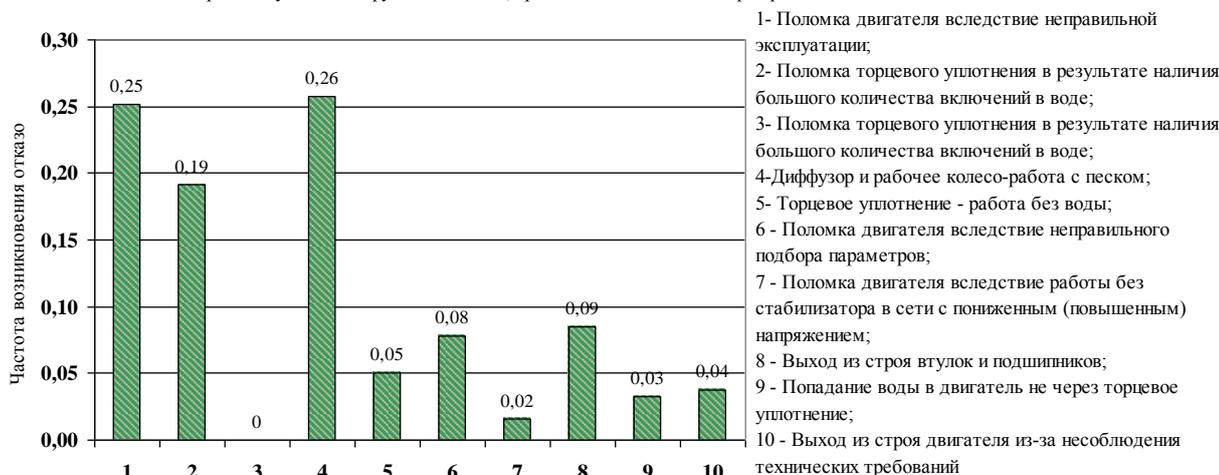
**Рис. 4.** Гистограмма распределения отказов среди реализованных бытовых насосов  
**Fig. 4.** Histogram of the distribution of failures among the implemented household pumps

Проанализировав данные, приведенные на рисунке 4 можно заключить, что среди отказов, возникающих при работе бытовых насосов, встречаются все виды отказов. Первое место среди причин возникновения отказов (с частотой 0,25) – это поломки двигателя в результате неправильной эксплуатации. Второе место (с частотой 0,19) - поломки из-за отказов, связанных с воздействием кавитации на рабочее колесо насосного агрегата. Третья место (с частотой 0,1) занимают сразу три причины возникновения отказов: поломка торцового уплотнения в результате наличия большого количества включений в воде; выход из строя торцового уплотнения – работа без воды; попадание воды в двигатель не через торцовое

уплотнение. Четвертая позиция (с частотой 0,09) – отказы, вызванные воздействием на диффузор и рабочее колесо – работа с песком. Пятое место (с частотой 0,08) – выход из строя втулок и подшипников. Шестое место (с частотой 0,04) – поломка двигателя вследствие работы без стабилизатора напряжения в сети. Седьмое место (с частотой 0,02) разделили между собой отказы, вызванные поломкой двигателя из-за неправильного подбора параметров и при несоблюдении паспортных требований.

На рис. 5 представлена гистограмма возникновения отказов по видам среди реализованных предприятием погружных насосов, предназначенных для забора артезианской воды.

Наименование отказов при эксплуатации погружных насосов, предназначенных для забора артезианских вод



**Рис. 5.** Гистограмма распределения отказов среди реализованных погружных насосов для забора артезианских вод  
**Fig. 5.** Histogram of the distribution of failures among the implemented submersible pumps for artesian water intake

Проанализировав данные приведенные на рис. 5 можно резюмировать, что среди отказов, возникающих при работе погружных насосов, предназначенных для забора артезианских вод, встречаются почти все виды отказов. Первое место среди причин возникновения отказов (с частотой отказов 0,26) занимают поломки диффузора и рабочего колеса из-за поступления с забираемой артезианской водой водоносного песка. Второе место (с частотой 0,25) принадлежит отказам, обусловленным поломкой электродвигателя в результате неправильной эксплуатации. Третье место (с частотой 0,19) соответствует отказам, связанным с поломкой торцового уплотнения в результате наличия большого количества включений в воде. Четвертое место – (с частотой 0,09) занимают отказы, вызванные выходом из строя втулок и подшипников. Пятая позиция (с частотой 0,08) – отказы, вызванные воздействием на диффузор и рабочее колесо – работа с песком. Шестое место (с частотой 0,08) – поломка двигателя

из-за неправильного подбора параметров. Седьмое место (с частотой 0,05) соответствует отказам, вызванным поломкой торцового уплотнения. Восьмое место (с частотой 0,04) – выход из строя двигателя вследствие несоблюдения технических требований. Девятое место (с частотой 0,03) – попадание воды в двигатель не через торцовое уплотнение. Десятое место (с частотой 0,02) – поломка двигателя из-за работы без стабилизатора напряжения в сети. Отказы, вызываемые воздействием кавитации, для данной группы насосов отсутствуют, что обусловлено погружением насоса на достаточную глубину, при этом над корпусом насоса имеется некоторый статистический напор, что обуславливает работу без кавитации.

Для лучшей интерпретации данных по отказам по различным группам насосов на рисунке 6 представлена сводная таблица для всего массива эксплуатационных данных.

Насосы	1	2	3
Погружные для отвода дренажных и сточных вод	0,34	0,28	0,2
Консольные	0,47	0,26	0,08
Бытовые	0,25	0,19	0,1
Погружные для забора артезианских вод	0,26	0,25	0,19

- Поломка двигателя вследствие неправильной эксплуатации
- Поломка торцевого уплотнения
- Наличие в перекачиваемой воде песка
- Поломка двигателя из-за неправильного подбора параметров
- Выход из строя втулок и подшипников
- Выход из строя двигателя из-за не соблюдения техпараметров
- Отказы, обусловленные явлением кавитации

Рис. 6. Количественный анализ частоты отказов групп насосного оборудования  
 Fig. 6. Quantitative analysis of the failure rate of pumping equipment groups

По результатам анализа таблицы, представленной на рисунке 6, можно заключить, что наиболее частым видом отказов, для рассмотренных типов насосов, является поломка электродвигателя вследствие неправильной эксплуатации.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Повышение надежности агрегатов связано с детальным анализом причин, которые вызывают основные виды отказов. Далее будут рассмотрены причины, которые обуславливают основные виды отказов насосного оборудования систем водоснабжения и водоотведения [2, 11].

**Поломка двигателя вследствие неправильной эксплуатации.** Основными параметрами, характеризующими работу двигателя, являются: номинальная мощность на валу  $N$ , кВт; номинальное напряжение  $U$ , В; номинальная

частота вращения  $n$ , мин<sup>-1</sup>; номинальная частота питания  $f$ , Гц (для двигателей переменного тока) [6]. На рис. 7 представлена рассчитанная механическая характеристика  $M=f(S)$  двигателя АИР 90L2 насоса K65-50-160, а на рис. 8 представлена классификация режимов работы двигателя. Переходные режимы являются неизбежными при работе любого механизма, при этом полезная работа не совершается, по возможности периоды работы в переходных режимах необходимо сокращать. Наиболее частой причиной выхода двигателей из строя является его перегрев, приводящий к нарушению изоляции [6]. Перегрев двигателя происходит при пуске, реверсе, торможении и перегрузках в установившемся режиме работы. При частых пусках и реверсах перегрев значителен, что приводит к значительной потере механической энергии и, следовательно, к снижению КПД.

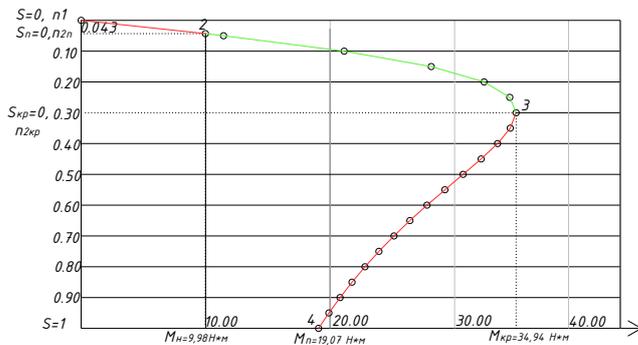


Рис. 7. Механическая характеристика  $M=f(S)$  двигателя АИР 90L2 насоса K65-50-160  
 Fig. 7. Mechanical characteristic  $M=f(S)$  of the AIP 90L2 engine of the K65-50-160 pump

**Поломка электродвигателя вследствие неправильного подбора параметров сети.** Отказы НО, обусловленные неправильными действиями с соединительными проводами. При этом основными отказами, связанными с соединительными проводами, являются неправильный подбор кабеля (повышенное сопротивление), обрыв фазы, неправильное чередование фаз при реверсе электродвигателя. При повышенном сопротивлении

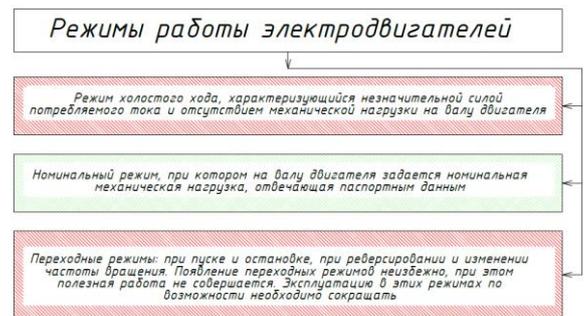
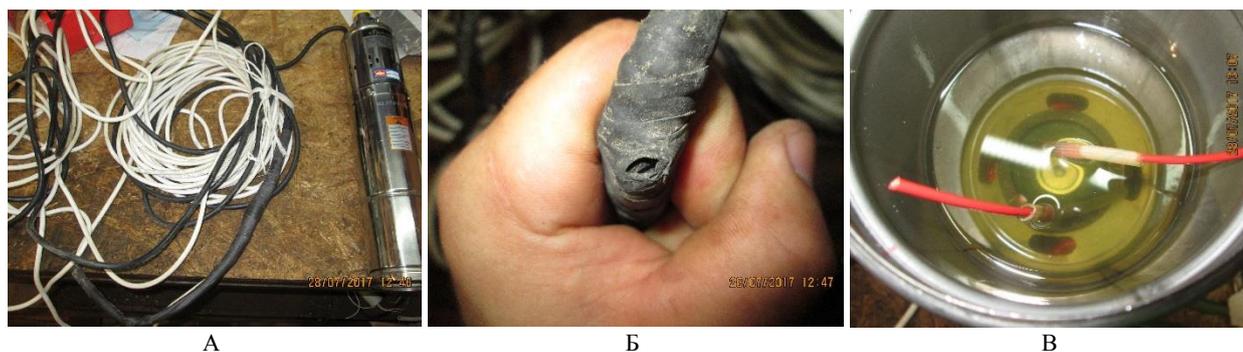


Рис. 8. Классификация режимов работы электродвигателей  
 Fig. 8. The classification of operating modes of electric motors

кабеля, он сильно греется, что приводит к повреждению изоляции и короткому замыканию. При обрыве фазы двигатель продолжает работать, но при этом резко возрастают токи обмоток электродвигателя, если защита не срабатывает, то изоляция обмоток перегревается и разрушается. На рис. 9 показано фото погружного насоса, предназначенного для забора артезианских вод, поступившего на ремонт.



**Рис. 9.** Общий вид разрыва кабеля питания электродвигателя погружного насоса для забора артезианской воды:  
 А – погружной насос с электрокабелем; Б – нарушение изоляции кабеля; В – разрыв кабеля питания  
**Fig. 9.** General view of the rupture of the power cable of the electric motor of the submersible pump for artesian water intake:  
 А – submersible pump with an electric cable; Б – violation of the cable insulation; В – rupture of the power cable

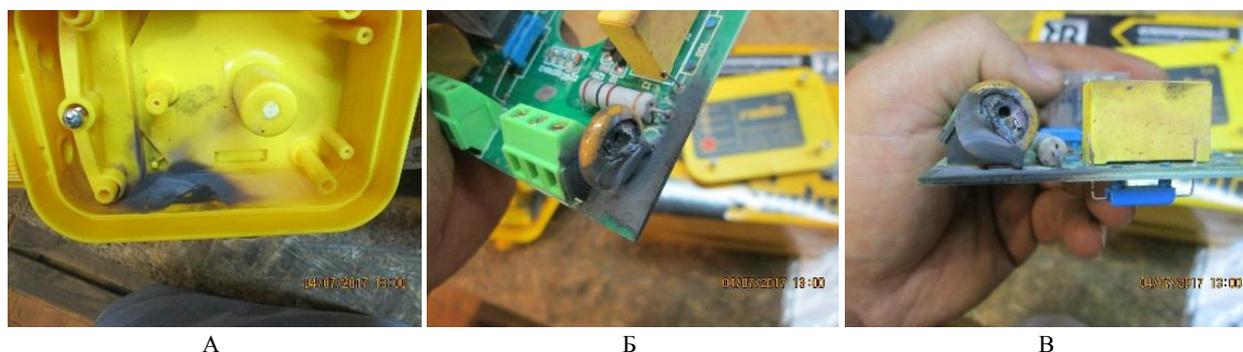
Направление вращения трехфазного электродвигателя определяется чередованием фаз, при противоположном направлении вращения наблюдаются значительное изменение параметров и характеристик центробежных насосов. При этом возникает значительное повышение крутящего момента на валу электродвигателя, и как следствие его сильный нагрев. Для стационарных насосов направление вращения электродвигателя определяется при монтаже и может измениться только при проведении работ в электросети. Направление вращения переносных насосов (дренажных) необходимо проверять при каждом подключении.

**Поломка двигателя вследствие работы без стабилизатора в сети с пониженным или повышенным напряжением.** Для управления электроприводом насосных станций, заключающегося в коммутации, разгоне, торможении и регулировании частоты вращения, применяется в основном низковольтная, рассчитанная до 500В аппаратура ручного и автоматического управления. В зависимости от назначения эта аппаратура подразделяется на коммутационную, регулировочную и защитную. Одни и те же аппараты могут выполнять различные

функции, например, коммутацию и защиту двигателя. Общим требованием, предъявляемым ко всем электрическим аппаратам управления и защиты, относятся их высокая надежность, быстрдействие и точность срабатывания [6].

На рис. 10 приведены фотографии последствия воздействия на плату автоматизации повышения напряжения в сети. Все фотографии отказов представлены специализированным предприятием «Н<sub>2</sub>О-Крым». О нарушении нормальной работы насосных станций сигнализируют специальные электрические приборы, устанавливаемые на панелях электрошкафов и щитках диспетчерских пультов. Предупредительная, аварийная и контрольная сигнализация автоматически извещает персонал об опасных изменениях режимов, аварийном отключении оборудования, о работе или остановке отдельных агрегатов станции. При пониженном напряжении в сети электродвигатель не развивает паспортной мощности, и при его пуске возможен срыв параметров.

Колебания и скачки напряжения, перекос фаз (неравенство напряжений в различных фазах) приводят к колебаниям скорости вращения, повышенным вибрациям электродвигателя, а также могут привести к нарушению изоляции обмотки.



**Рис. 10.** Общий вид платы автоматизации после внезапного изменения напряжения:  
 А – оплавленный корпус платы автоматизации; Б, В – оплавленная плата автоматизации  
**Fig. 10.** General view of the automation board after a sudden voltage change:  
 А – the melted body of the automation board; Б, В – the melted automation board

**Попадание воды в двигатель не через торцевое уплотнение.** Попадание воды в двигатель насоса возможно, как через торцевое уплотнение, так и со

стороны заднего вентилятора, или же через конденсаторную или коробку выводов (рис. 11).



**Рис. 11** - Вид сгоревшего электродвигателя насоса: А – сгоревшие обмотки статора; Б – ротор со следами попадания воды, В – статор, на поверхность которого попала вода  
**Fig. 11**-View of the burnt-out electric motor of the pump: A-burnt stator windings; Б-the rotor with traces of water ingress, В - the stator, on the surface of which water has fallen

Данное явление может быть следствием затопления помещения, в котором были установлены насосные агрегаты или же они находились во время дождя на улице.

**Поломка торцевого уплотнения.**

Неисправность уплотнительных узлов является распространенной причиной остановок насосов. Наиболее простым по конструкции и в обслуживании является сальниковое уплотнение. Материал, из которого выполнено уплотнение и усилия поджатия, зависят от рабочих давлений, скорости скольжения поверхности вала, температуры и свойств перекачиваемой жидкости.

К основным причинам выхода из строя торцевого уплотнения относятся:

- коррозия (химическое, электрохимическое или биологическое воздействие);

- отложение со стороны внешней и уплотняемой среды;

- перегрев вследствие высоких температур и превышения допустимых напряжений кручения (допустимого крутящего момента);

- превышение допустимых напряжений (допустимого крутящего момента)

- «термический шок».

Фото поломки торцевого уплотнения вследствие сухого хода насоса показано на рисунке 12. Перекачиваемая жидкость является охладителем, но при завоздушивании системы, или при включении насоса без подачи воды, происходит перегревание торцевого уплотнения, что приводит к его выходу из строя. Большинство случаев поломок по сухому ходу обусловлены некомпетентными действиями обслуживающего персонала.



**Рис. 12.** Поломки торцевого уплотнения насоса:

А – из-за сухого хода; Б – налипания металла; В – из-за наличия включений в воде

**Fig. 12.** Pump mechanical seal failures:

А – due to dry running; Б – metal sticking; В – due to the presence of inclusions in the water

На рис. 13 представлено фото, на котором изображена поломка торцевого уплотнения из-за налипания металла и значительного наличия включений в воде. Конструкция двойного торцевого уплотнения показана на рис. 14

**Нарушение деталей насоса в результате воздействия кавитации.** Кавитация – процесс нарушения сплошности течения жидкости, возникающий в тех участках потока, где давление, понижаясь, достигает некоторого критического значения [7]. В качестве критического давления, при котором начинается кавитация, обычно принимают

давление насыщенных паров перекачиваемой жидкости при данной температуре. Качественные изменения структуры потока, вызванные кавитацией, приводят к изменениям режима работы гидравлической машины или системы, что является последствием воздействия кавитации [7].

Кавитационная зона, возникающая в проточной части гидравлических машин, меняет путь потока, что нежелательно и сопровождается дополнительными потерями энергии. Снижение энергетических параметров (подача, напор) и уменьшение коэффициента полезного действия

являются прямым следствием кавитации в любой гидравлической машине. Неустойчивость кавитационной зоны и вызванные появлением этой зоны вторичные течения жидкости приводят к значительным пульсациям давления в потоке, оказывающим динамическое воздействие на направляющие поток поверхности.

Воздействие кавитации сопровождается разрушением поверхности, на которой возникают и

некоторое время существуют кавитационные пузыри, называемое кавитационной эрозией. Механические повреждения рабочих органов гидравлических машин в результате кавитационной эрозии могут за относительно короткий срок достигнуть размеров, затрудняющих их нормальную эксплуатацию (рисунок 13).



А



Б

**Рис. 13.** Разрушение деталей насоса под воздействием явления кавитации:

А – внутренней поверхности корпуса; Б – лопасти рабочего колеса

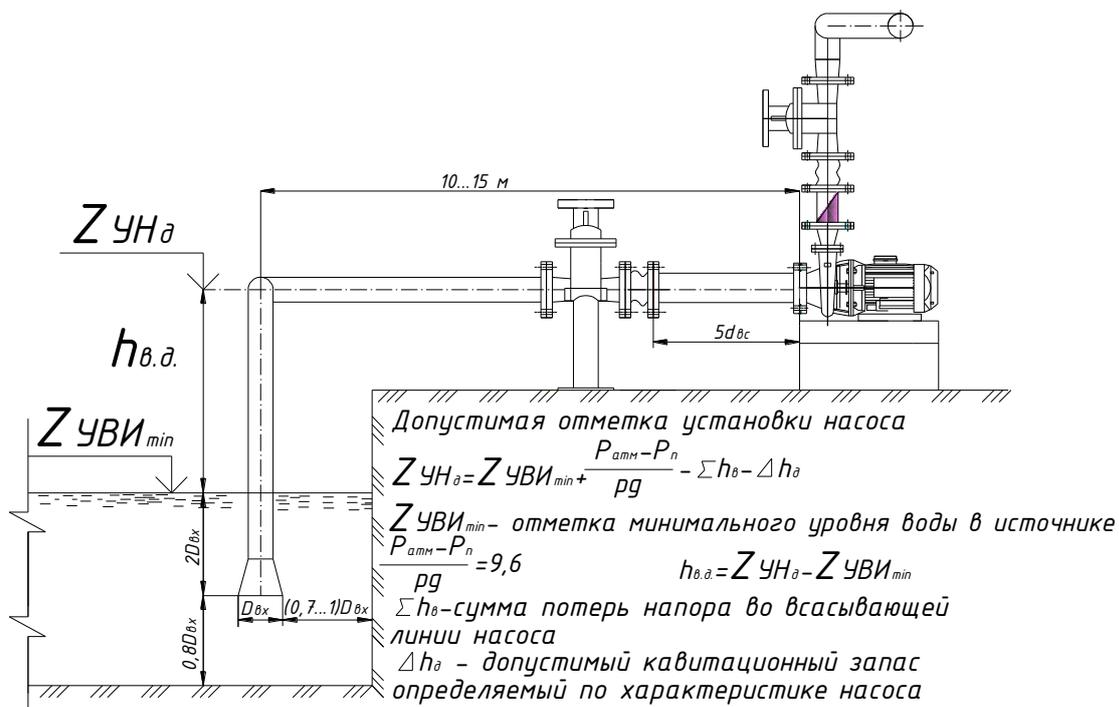
**Fig. 13.** Destruction of pump parts under the influence of the cavitation phenomenon:

А – the inner surface of the housing; Б – the impeller blades

К простым способам устранения кавитации относится:

- уменьшение высоты всасывания;
- понижение потерь напора во всасывающем трубопроводе путем увеличения его диаметра, уменьшения величины и числа местных сопротивлений и потерь напора по длине, за счет установки ближе к питающему резервуару, но не более 5...10 м.;

- увеличение давления во всасывающем трубопроводе путем повышения уровня воды в питающем резервуаре, либо применением бустерного насоса [7]. Для устранения процессов разрушения под воздействием кавитации рекомендуемая схема установки насоса относительно уровня воды в источнике показана на рисунке 14 [7-10] с учетом п. 10.15 СП 31.13330.2012 [12].



**Рис. 14.** Схема установки насоса от уровня воды в источнике

**Fig. 14.** Diagram of the pump installation from the water level in the source

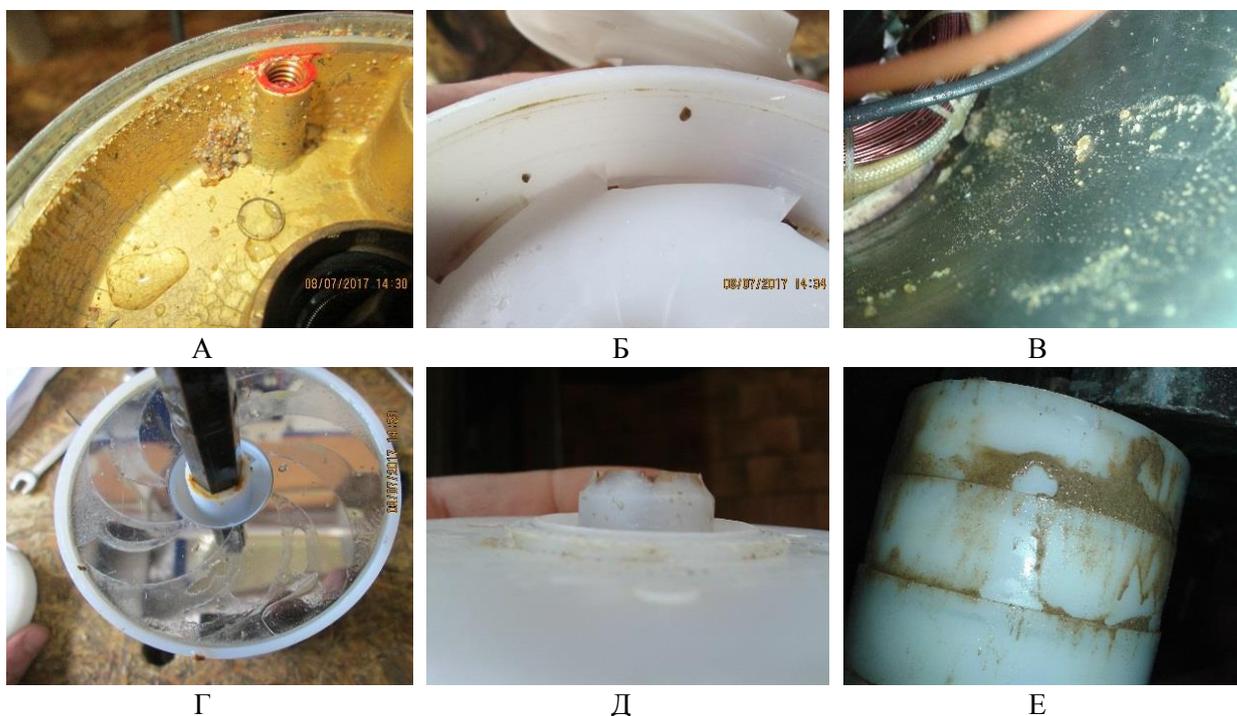
**Выход из строя подшипников.** В центробежных насосах применяют как подшипники качения (шариковые и роликовые), так и подшипники скольжения (с бронзовыми или баббитовыми вкладышами). Поломки подшипниковых узлов вызваны в основном неправильным монтажом насосного агрегата и электродвигателя с нарушением допускаемой соосности и перекося валов агрегатов, что вызывает повышенные нагрузки, неправильные режимы охлаждения и смазки (рис. 15).



**Рис. 15.** Поломка подшипника качения с разрушением обоймы и тел качения  
**Fig. 15.** Rolling bearing failure with destruction of the cage and rolling elements

**Отказы, вызванные повреждением диффузора и рабочего колеса из-за наличия песка в перекачиваемой воде.** При заборе артезианских вод и при отсутствии должным образом устроенного фильтра скважины, подобранного в зависимости от типа водоносного песка, в насос поступают минеральные включения. Песок, поступающий в рабочие органы насоса, воздействует на крыльчатку и диффузор, постепенно способствующие изменению энергетических характеристик и засорению проточных органов. На рис. 16 показаны фотографии поломок насосов, вызванные засорением воды минеральными включениями.

Как видно на фотографиях, приведенных на рис. 16, в рабочие органы насоса поступили достаточно крупные минеральные включения. Избежать подобного явления помогут правильный подбор фильтра для артезианской скважины по п.8.14 СП 31.13330.2012 [12], после анализа водоносного песка, полученного в результате пробной откачки, а также устройство специального отстойника, длиной два метра ниже фильтра в соответствии с п.8.21 СП 31.13330.2012 [12].



**Рис. 16.** Поломки деталей насоса после забора воды с песчаными включениями:  
 А, Б – минеральные включения в проточных органах; В – песок в корпусе электродвигателя; Г – песчаный отпечаток рабочего колеса на направляющей поверхности; Д – разрушенная фаска рабочего колеса; Е – рабочие колеса, вынутые из корпуса, после забора воды с песком  
**Fig. 16.** Pump parts breakdowns after water intake with sand inclusions: А, Б – mineral inclusions in the flow organs; В – sand in the motor housing; Г – sand impression of the impeller on the guide surface; Д – destroyed bevel of the impeller, Е – impellers removed from the housing after water intake with sand

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

Для определения показателей интенсивности отказов насосов, предназначенных для бытового водоснабжения, была составлена выборка из журнала регистраций ремонтов на специализированном предприятии. В выборку были включены наименование марки насоса, дата его поломки; наименование поломки; определен период работы до возникновения отказа.

Определение параметров интенсивности [1-3] отказов осуществляли по следующему выражению:

$$\lambda^*(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp}(\Delta t)\Delta t}; \quad (3)$$

$$N_{cp}^*(\Delta t) = \frac{N_i + N_{i+1}}{2}; \quad (4)$$

где  $N_{cp}(\Delta t)$  – среднее число исправно работающих образцов оборудования в интервале времени  $\Delta t$ ;

$N_i, N_{i+1}$  – число исправно работающих образцов оборудования в начале и в конце интервала  $\Delta t$ .

Для каждой марки насоса период наработки на отказ определяется по формуле [4, 5]:

$$T^* = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0}; \quad (5)$$

где  $t_i$  – время работы до отказа  $i$ -го образца оборудования.

**Определение интенсивности отказов погружных насосов, предназначенных для забора артезианских вод.** Данные по отказам погружных насосов приведены в таблице 5, а в таблице 6 приведены результаты расчетов среднего времени наработки на отказ.

**Таблица 5.** Журнал данных ремонтов погружных насосов  
**Table 5.** Data log of submersible pump repairs

№ п/п	Марка насоса	Дата продажи	Дата приемки	Срок работы, месяцы	Вид поломки
1	V-180	09.03.15	10.10.17	31	Замена подшипников
2	V-250	27.02.16	16.10.17	20	Оборван поплавок
3	VX 8/35	11.12.12	17.10.17	62	Заклинивание ротора
4	V-180	15.11.13	21.10.17	31	Сгорел двигатель, заклинивание вала
5	V-180	06.12.14	23.10.17	34	Разлетелся подшипник
6	VX 8/35	15.08.14	24.10.17	38	Отсутствие защиты по току сгорел двигатель
7	V-250	25.01.12	27.10.17	34	Замена масла в двигателе
8	WQD 15-15-1,5	22.10.14	28.10.17	36	Работа не в рабочем диапазоне, сгорел двигатель
9	MC 10/30	18.12.12	31.10.17	62	Замена масла, подшипников, торцевого
10	V-180	20.10.12	3.11.17	61	Замена масла, подшипников, торцевого уплотнения, поплавка
11	V-1500	19.06.13	07.11.17	53	Замена режущего ножа и подшипников
12	WQD 10-8-0,55	02.05.16	14.11.17	36	Намотало на вал, сгорел двигатель
13	V-250	28.03.14	17.11.17	20	Замена конденсатора
14	V-180	21.08.15	18.11.17	27	Замена уплотнений, кабеля
15	V-1500	05.06.13	28.11.17	53	Замена ножа и корпуса насосной части
16	V-180	23.01.13	25.11.17	58	Сгнил кожух статора, отсутствует заземление
17	V-1500	05.06.13	28.11.17	53	Замена ножа и корпуса насосной части, разбило крупными фракциями
18	V-250	12.08.16	14.12.17	16	Оборван кабель питания
19	V-180	27.05.13	11.12.17	27	Сгнил ротор
20	V-250	12.08.16	14.12.17	19	Замена рабочего колеса
21	MC 10/30	23.09.16	15.12.17	15	Поплавок пропустил воду, перемотка
22	WQD 10-8-0,5	02.05.16	14.11.17	36	Замена подшипников, перебандаж двигателя
23	V-180	17.08.11	18.12.17	76	Замена подшипников, замена масла, поплавка и кабеля
24	VX 8/35	18.03.16	11.01.18	22	Вода в двигателе, работа в не заданных параметров
25	V-180	08.10.11	12.01.18	76	Замена подшипников, замена масла

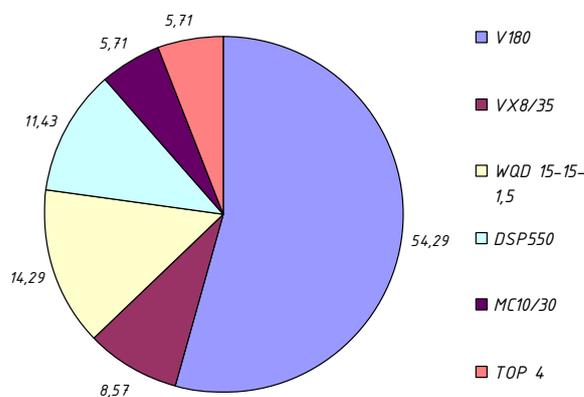
26	WQD 10-8-0,55	21.11.14	16.01.18	38	Перемотка двигателя
27	V-250	21.01.16	26.01.18	24	Перегрев, перемотка двигателя
28	V-180	03.06.16	29.01.18	19	Заклинивание вала
29	Dsp 550	05.11.14	04.02.17	1	Перенапряжение в сети, выгорели семистеры
30	WQD 10-8-0,55	03.12.15	13.02.17	14	Работа не в параметрах, замена теплового датчика
31	Top 4	16.05.14	16.02.17	31	Не работает поплавок
32	Dsp 550	30.07.14	21.02.17	31	Сгнил вал
33	Dsp 550	28.02.15	21.02.17	24	Замена торцевого уплотнения
34	Top 1	21.06.11	23.02.17	68	Замена подшипников, торцевого уплотнения
35	Dsp 750p	11.06.15	25.02.17	20	Разрыв конденсаторов

**Таблица 6.** Время наработки на отказ для различных марок погружных насосов  
**Table 6.** Failure time for different brands of submersible pumps

Марка насоса	V180	VX 8/35	WQD 15-15-1,5	Dsp 550	MC 10/30	Top 4
Время наработки на отказ $t_{cp}$ , месяцев	38,5	40,7	32	19	38,5	49,56
Время наработки на отказ $t_{cp}$ , часов	13870	14652	11520	6840	13860	17820

Структурное распределение по маркам насосов, выраженное в процентах, среди погружных насосных агрегатов, предназначенных для отвода дренажных вод, представлено на рис. 17. В таблице

7 приведены результаты определения интенсивности отказов, выявленные для современных марок погружных насосов, реализуемых на специализированном предприятии.



**Рис. 17.** Процентное распределение в структуре реализации погружных насосов, предназначенных для отвода дренажных вод

**Fig. 17.** Percentage distribution in the structure of sales of submersible pumps intended for drainage water drainage

**Таблица 7.** Показатели интенсивности отказов,  $\lambda$  на основе обработки статистических данных погружных насосов  
**Table 7.** Failure rate indicators, calculated based on the processing of statistical data of submersible pumps

Марка насоса	Интенсивность отказов, $10^4$ 1/ч		
	$\lambda_{min}$	$\lambda_{cp}$	$\lambda_{max}$
Sprut V180	0,26	0,38	0,41
Pedrollo VX 8/35	0,25	0,36	0,39
SPRUT WQD 15-15-1,5S	0,31	0,46	0,49
«Насосы плюс оборудование» Dsp550	0,53	0,78	0,82
Pedrollo MC 10/30	0,26	0,38	0,41
Pedrollo Top 4	0,20	0,30	0,32

Данные по отказам консольных насосов приведены в таблице 8, в таблице 9 представлены

результаты расчетов среднего времени наработки на отказ.

**Таблица 8.** Данные журнала ремонтов консольных насосов  
**Table 8.** Cantilever pump repair log data

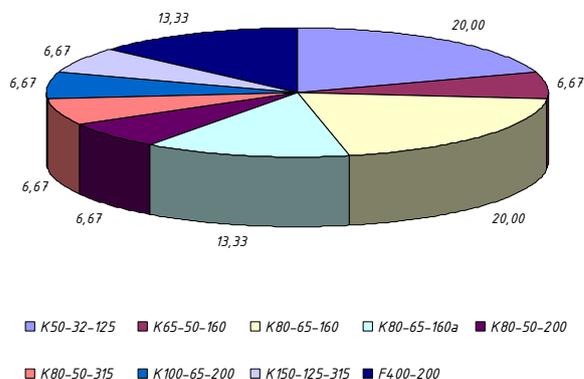
№ п/п	Марка насоса	Дата продажи	Дата приемки	Срок работы, месяцы	Вид поломки
1	K 80-65-160		26.02.13	120	Замена подшипников (3 раза); замена полумуфты (2 раза), перемотка двигателя; перебандаж обмоток
2	K 80-65-160		11.06.14	36	Замена подшипников, перемотка двигателя
3	K 150-125-315		24.07.14	18	Замена подшипников, полумуфты, насосной части
4	K 80-65-160		24.07.14	18	Износ рабочих комплектов (работа по песку)
5	K 50-32-125		28.11.14	6	Замена подшипников
6	K80-50-200		12.04.15	24	Замена подшипников, чистка и замена полумуфты (2 раза)
7	K 50-32-125		08.09.15	72	Замена подшипников, замена полумуфты (2 раза)
8	K 100-65-200		05.12.15	60	Замена подшипника, перемотка двигателя (2 раза)
9	K 80-65-160a		05.04.16	60	Перемотка двигателя (2 раза); замена подшипников (3 раза); замена вентилятора; ремонт насосной части замена насосной части
10	K 80-50-315		21.08.16	24	Замена подшипников
11	K 80-65-160a		14.05.17	18	Замена вентилятора, замена контактной колодки
12	K 50-32-125	26.08.15	15.10.17	26	Сгорел двигатель, нет защиты по току
13	F40-200	19.09.12	25.10.17	61	Затопление двигателя
14	K 80-85-160	24.07.15	25.11.17	28	Клин вала из-за простоя
15	F65-125	26.08.15	28.11.17	52	Механическое повреждение насосной части
16	K65-50-160	30.06.14	12.12.17	40	Торцовое уплотнение
17	K 80-85-160	26.05.15	11.01.18	20	Замена сальниковой набивки, перебандаж статора
18	K 50-32-125	21.03.16	15.01.18	68	Замена подшипников, торцового уплотнения, конденсатора

**Таблица 9.** Время наработки на отказ для различных марок консольных насосов  
**Table 9.** Failure response time for different brands of cantilever pumps

Марка насоса	K 50-32-125	K 65-50-160	K 80-65-160	K 80-65-160a	K 80-50-200	K 80-50-315	K 100-65-200	K 150-125-315	F400-200
Время наработки на отказ $t_{cp}$ , месяцев	43	40	60	31,5	24	24	60	18	56,5
Время наработки на отказ $t_{cp}$ , часов	15480	14400	21600	11340	8640	8640	21600	6480	20340

Распределение реализованных марок насосов, вернувшихся на гарантийное обслуживание, выраженное в процентах, среди консольных насосов, предназначенных для отвода дренажных

вод, представлено на рис. 18. В таблице 10 приведены результаты определения интенсивности отказов, выявленных среди консольных насосов, реализуемых на специализированном предприятии.



**Рис. 18.** Процентное распределение в структуре реализации консольных насосов по маркам  
**Fig. 18.** Percentage distribution in the structure of sales of cantilever pumps by brand

**Таблица 10.** Показатели интенсивности отказов,  $\lambda$  на основе обработки статистических данных погружных насосов  
**Table 10.** Failure rate indicators, calculated based on the processing of statistics of submersible pumps

Марка насоса	Интенсивность отказов, 10 <sup>4</sup> 1/ч		
	$\lambda_{min}$	$\lambda_{cp}$	$\lambda_{max}$
<i>K 50-32-125</i>	0,25	0,36	0,4
<i>K 65-50-160</i>	0,27	0,38	0,43
<i>K 80-65-160</i>	0,18	0,26	0,29
<i>K 80-65-160a</i>	0,34	0,49	0,55
<i>K 80-50-200</i>	0,44	0,64	0,72
<i>K 80-50-315</i>	0,44	0,64	0,72
<i>K 100-65-200</i>	0,18	0,26	0,29
<i>K 150-125-315</i>	0,59	0,85	0,96
<i>F400-200</i>	0,19	0,27	0,31

**Определение интенсивности отказов бытовых насосов.** Данные по отказам бытовых насосов показаны в таблице 11, в которой насосы одинаковой марки выделены цветом. В таблице 12 представлены результаты расчетов среднего времени наработки на отказ. На основании данных классифицированных в таблице 11, было выявлено, что насос марки *Rudes (Китай) JET 110b* и «Насосы плюс оборудование» (Украина) JEX 500 наиболее частая поломка обусловлена выходом из строя торцевого уплотнения.

Распределение реализованных марок насосов, вернувшихся на гарантийное обслуживание, выраженное в процентах, среди бытовых насосов, предназначенных для водоснабжения коттеджей, частных домов, полива садовых культур представлено на рис. 19. В таблице 13 приведены результаты определения интенсивности отказов, выявленных среди бытовых насосов, реализуемых на специализированном предприятии.

**Таблица 11.** Журнал данных ремонтов бытовых насосов  
**Table 11.** Data log of household pump repairs

№ п/п	Марка насоса	Дата продажи	Дата приемки	Срок работы, месяцы	Вид поломки
1	<i>JSW 1b</i>	02.05.16	01.02.17	9	<b>Торцовое уплотнение</b>
2	<i>Pkm60</i>	16.05.14	03.02.17	33	Попадание воды в двигатель
3	<i>JSW 1b</i>	24.03.16	03.02.17	11	<b>Торцовое уплотнение</b>
4	<i>Pkm60</i>	04.04.16	05.02.17	10	Стерлась крыльчатка, вода с примесями
5	<i>Pkm60</i>	16.05.16	07.02.17	9	Просел конденсатор
6	<i>Rudes qb60</i>	06.03.16	08.02.17	11	<b>Гул подшипников</b>
7	<i>Plurijet 3/80</i>	08.04.16	08.02.17	10	Расплавилась рабочие комплекты, работа по сухому ходу
8	<i>JSW 1b</i>	21.11.14	14.02.17	27	Торцовое уплотнение, подшипники
9	<i>Cpm 130</i>	18.10.14	15.02.17	28	Подшипники, попадание воды через конденсаторную коробку
10	<i>JSWM 10mx</i>	05.06.15	16.02.17	20	Диффузор, эжектор, трещина
11	<i>Plurijet 3/80</i>	08.09.16	17.02.17	5	Разморожена насосная часть
12	<i>JSWM 10mx</i>	17.10.12	18.02.17	52	Подшипники, торцевое, конденсатор
13	<i>MRS 3</i>	26.05.12	18.02.17	57	Замена диффузора
14	<i>JSWM 1ax</i>	13.04.15	21.02.17	22	Оплавлен диффузор
15	<i>MRS 3</i>	19.11.14	22.02.17	27	Торцовое уплотнение, сгорел двигатель, подшипники
16	<i>JSW 1ax</i>	18.10.16	23.02.17	4	Конденсатор
17	<i>JSWM 15mx</i>	28.06.16	27.02.17	8	Работа в не заданных параметрах, насос цел
18	<i>Plurijet 4/200</i>	23.08.11	28.02.17	66	Рабочие комплекты стерты при работе по сухому ходу

19	<i>JET 110b</i>	26.12.15	10.10.17	22	<b>Торцовое уплотнение</b>
20	<i>Plurijet 4/200</i>	05.06.13	25.10.17	52	Замена подшипников
21	<i>JSR 10MX</i>	29.03.17	27.10.17	7	Лопнул диффузор
22	<i>JET 110b</i>	05.06.13	25.10.17	52	Конденсатор (скачок напряжения)
23	<i>JEX 1100</i>	14.05.16	30.10.17	17	<b>Торцовое уплотнение</b>
24	<i>Plurijet 3/80</i>	24.01.13	03.11.17	58	Сгорел двигатель, просел конденсатор
25	<i>JSW 2bx</i>	31.03.12	06.11.17	68	Гул подшипников, замена торцового уплотнения
26	<i>JEX 1100</i>	23.04.16	06.11.17	19	<b>Торцовое уплотнение</b>
27	<i>Plurijet 3/100</i>	24.02.14	15.11.17	45	Профилактические мероприятия
28	<i>Cpm 158</i>	06.09.14	17.11.17	38	<b>Торцовое уплотнение</b>
29	<i>JSR 10MX</i>	09.08.17	18.11.17	3	Расплавление рабочего колеса
30	<i>JET 110b</i>	13.11.13	20.11.17	48	Поступление воды в двигатель, замена подшипников
31	<i>Plurijet 3/100</i>	04.06.14	21.11.17	41	Торцовое уплотнение
32	<i>JSW 2bx</i>	22.07.13	22.11.17	52	Расплавление диффузора и эжектора
33	<i>Cpm 158</i>	26.02.14	23.11.17	45	Разморозило
34	<i>JET 110b</i>	26.03.15	23.11.17	32	<b>Торцовое уплотнение</b>
35	<i>Plurijet 3/80</i>	06.05.17	23.11.17	6	Не создает давление, стерта крыльчатка
36	<i>JSW 2bx</i>	22.04.14	22.11.17	43	Торцовое уплотнение
37	<i>JEX 1100</i>	15.06.13	25.11.17	53	<b>Торцовое уплотнение, подшипники</b>
38	<i>Plurijet 4/200</i>	28.07.14	26.11.17	40	Сгорел двигатель ( <b>торцовое уплотнение стерлось</b> )
39	<i>Cpm 158</i>	07.08.14	27.11.17	39	Засорение рабочего колеса насоса
40	<i>JET 110b</i>	24.03.15	29.11.17	32	<b>Торцовое уплотнение, подшипники</b>
41	<i>JSW 1cx</i>	12.10.13	03.12.17	50	Сгорел двигатель (просел конденсатор)
42	<i>Plurijet 3/100</i>	24.07.14	03.12.17	41	Повело рабочее колесо из-за закипания
43	<i>JET 110b</i>	06.05.15	03.12.17	31	<b>Торцовое уплотнение</b>
44	<i>JSW 1cx</i>	28.07.12	05.12.17	65	Гул двигателя, замена подшипника
45	<i>JSW 1cx</i>	30.06.17	07.12.17	6	Гул подшипников, замена торцового уплотнения
46	<i>JEX 500</i>	14.10.16	13.12.17	14	<b>Торцовое уплотнение</b>
47	<i>Cpm 130</i>	02.02.16	14.12.17	22	Работа с песком
48	<i>JSW 2bx</i>	12.06.13	15.12.17	54	Замена подшипников, торцового уплотнения, конденсаторов
49	<i>CP 190</i>	21.05.12	15.12.17	67	Сгорел двигатель, попадание воды через клемную коробку
50	<i>Plurijet 4/100</i>	28.01.15	15.12.17	35	Эжектор лопнул
51	<i>JSW 1cx</i>	28.03.12	15.12.17	69	Перебит кабель, выгорела обмотка
52	<i>Plurijet 3/100</i>	08.09.13	20.12.17	51	Перебит кабель, выгорела обмотка
53	<i>JSR 10MX</i>	26.10.13	20.12.17	50	Разлетелся подшипник
54	<i>JSW 2bx</i>	22.07.13	22.11.17	52	Замена конденсатора и торцового уплотнения
55	<i>JEX 500</i>	10.03.17	12.01.18	9	Мал диаметр всасывающего трубопровода, сгорел двигатель
56	<i>JSW 1ax</i>	26.02.15	12.01.18	35	Торцовое уплотнение
57	<i>JET 110b</i>	10.04.13	18.01.18	57	<b>Торцовое уплотнение</b>
58	<i>Cpm 158</i>	07.09.15	20.01.18	28	Сгорел двигатель
59	<i>JEX 500</i>	06.01.15	26.01.18	36	<b>Торцовое уплотнение, подшипники</b>
60	<i>JET 110b</i>	06.09.16	28.01.18	16	<b>Торцовое уплотнение, работа с песком</b>
61	<i>JSW 2bx</i>	03.01.17	28.01.18	12	Диффузор стерт песком, крыльчатка забита

**Таблица 12.** Время наработки на отказ для различных марок бытовых насосов

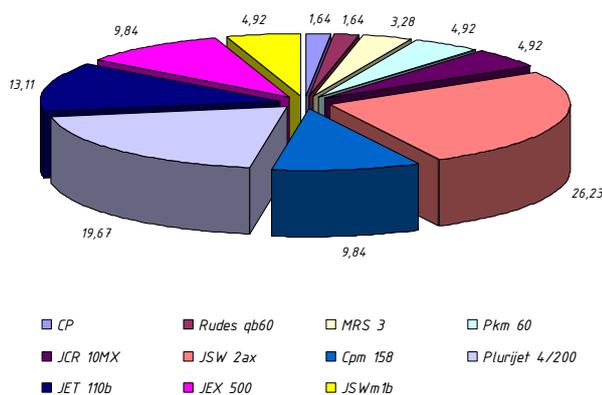
**Table 12.** Failure response time for various brands of household pumps

Марка насоса	CP190	qb 60	MRS 3	Pkm 60	JSR 10MX	JSW 2ax	Cpm 158	Plurijet 4/200	JET 110b	JEX 500	JSWM 2ax
Время наработки на отказ $t_{cp}$ , месяцев	52	11	42	17,3	5,7	34,6	35,17	38,75	36,5	18,7	26,7
Время наработки на отказ $t_{cp}$ , часов	18720	3960	2520	6228	2052	12456	12661,2	13950	13140	6732	9612

Данные по отказам погружных насосов, предназначенных для забора артезианских вод, приведены в таблице 14, в таблице 15 показаны результаты расчетов среднего времени наработки на отказ.

**Таблица 13.** Определение интенсивности отказов,  $\lambda$  на основе обработки статистических данных

**Table 13.** Determination of the failure rate,  $\lambda$  based on statistical data processing



**Рис. 19.** Процентное распределение в структуре реализации бытовых насосов по маркам

**Fig. 19.** Percentage distribution in the structure of sales of household pumps by brand

Марка насоса	Интенсивность отказов, $10^4$ 1/ч		
	$\lambda_{min}$	$\lambda_{cp}$	$\lambda_{max}$
«Pedrollo» CP190	0,08	0,09	0,14
«Rudes» qb 60	0,37	0,43	0,65
«SPRUT» MRS 3	0,1	0,11	0,17
«Pedrollo» Pkm 60	0,24	0,28	0,41
«Pedrollo» JSR 10MX	0,71	0,84	1,25
«Pedrollo» JSW 2ax	0,12	0,14	0,21
«Насосы плюс оборудование» Cpm 158	0,12	0,14	0,20
«Pedrollo» Plurijet 4/200	0,11	0,12	0,18
«DAB» JET 110b	0,11	0,13	0,19
«Насосы плюс оборудование» JEX 500	0,22	0,26	0,38
«Pedrollo» JSWM 2ax	0,15	0,18	0,27

**Таблица 14.** Журнал данных ремонтов погружных насосов, предназначенных для забора артезианских вод

**Table 14.** Data log of repairs of submersible pumps intended for artesian water intake

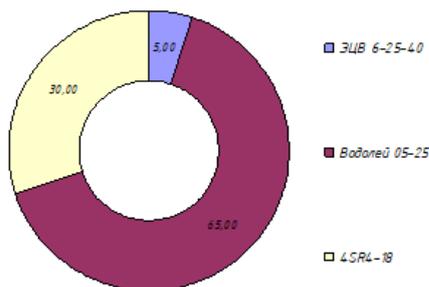
№ п/п	Марка насоса	Дата продажи	Дата приемки	Срок работы, месяцы	Вид поломки
1	ЭЦВ 6-25-40	18.02.14	08.02.17	26	Сгорел двигатель, перекоз фаз
2	Водолей 0,5-25	19.09.16	13.02.17	5	Замена рабочих комплектов и торцового уплотнения, работа по песку
3	Водолей 0,5-50	01.08.14	21.02.17	30	Сгорел двигатель, попадание воды в масло через мембрану
4	4SR 4-18	16.06.16	10.10.17	16	Износ рабочих комплектов (работа по песку)
5	Водолей 0,5-80	01.05.14	23.10.17	41	Сгнил кожух электродвигателя
6	Водолей 1,2-50	27.02.15	31.10.17	32	Вода в двигателе (порвана донная мембрана)
7	4SR 2-10	22.02.15	01.11.17	33	Перебит кабель, выгорела обмотка
8	Водолей 0,5-40	17.03.12	22.11.17	68	Масло в двигателе, замена торцового уплотнения, вода в двигателе
9	Водолей 1,2-40	10.09.13	24.11.17	68	Замена подшипников, торцового уплотнения, вода в двигателе
10	4SR 4-18	14.09.13	1.12.17	51	Работа по сухому ходу, замена комплектов, торцового
11	Водолей 0,5-40	30.01.13	08.12.17	41	Выгорание термозащиты
12	4SR 2-10	18.07.14	12.12.17	41	Работа без защиты по току, сгорел двигатель

13	Водолей 0,5-50	23.12.15	26.12.17	41	Замена торцевого уплотнения, замена двигателя
14	Водолей 0,5-40	10.03.14	27.12.17	42	Просушка двигателя, замена масла
15	4SR 2-10	19.12.14	01.01.18	36	Заклинивание двигателя, камни в рабочих органах
16	Водолей 0,5-50	25.06.16	09.01.18	18	Замена рабочих комплектов работа по песку
17	Водолей 1,2-25	28.05.13	11.01.18	44	Замена конденсатора
18	4SR 2-10	05.04.12	26.01.18	36	Замена привода питания
19	Водолей 1,2-25	08.09.15	30.01.18	28	Прогнил кожух статора, нет заземления
20	Водолей 0,5-25	13.06.13	03.02.17	44	Замена рабочих колес

**Таблица 15.** Время наработки на отказ для различных марок погружных насосов для отвода дренажных и сточных вод  
**Table 15.** Failure time for various brands of submersible pumps for drainage and waste water discharge

Марка насоса	ЭЦВ 6-25-40	Водолей 0,5-25	4SR 4-18
Время наработки на отказ $t_{cp}$ , месяцев	36	37,3	35,5
Время наработки на отказ $t_{cp}$ , часов	12960	14652	12780

Распределение реализованных марок насосов, вернувшихся на гарантийное обслуживание, выраженное в процентах, среди погружных насосов, предназначенных для забора артезианских вод, представлено на рис. 20. В таблице 16 приведены результаты определения интенсивности отказов, выявленных среди консольных насосов, реализуемых на специализированном предприятии.



**Рис. 20.** Процентное распределение в структуре реализации погружных насосов, предназначенных для забора артезианских вод по маркам  
**Fig. 20.** Percentage distribution in the structure of sales of submersible pumps intended for artesian water intake by brand

На основании выше изложенного можно заключить, что надежность работы НО, находящегося в пользовании у населения, зачастую плохо соблюдающего требования размещения, эксплуатации, содержания, существенно влияет на параметры интенсивности отказов. Ранее данные по надежности для групп насосов систем водоснабжения, определялись по результатам эксплуатации специализированных организаций, а определенные параметры по надежности соответствовали в основном насосам отечественного производства 70-80-х годов, что обусловило актуальность выполненных исследований. Полученные данные по параметрам надежности современного НО позволяют определять показатели надежность реализуемых гидравлических систем на стадии проектирования и эксплуатации.

**Таблица 16.** Показатели интенсивности отказов,  $\lambda$  на основе обработки статистических данных погружных насосов

**Table 16.** Failure rate indicators, calculated based on the processing of statistics of submersible pumps

Марка насоса	Интенсивность отказов, $10^4$ 1/ч		
	$\lambda_{min}$	$\lambda_{cp}$	$\lambda_{max}$
ЭЦВ 6-25-40	0,16	0,20	0,26
Водолей 0,5-25	0,15	0,19	0,25
4SR 4-18	0,16	0,20	0,27

## ВЫВОДЫ

На основе выполненного аналитического обзора рассмотрены существующие принципы оценки показателей надежности НО, а также были установлены основные причины его отказов, которые влияют на параметры надежности. Выявлены недостатки в существующих концепциях оценки факторов отказов.

С применением методов математической статистики установлены количественные оценки показателей безотказности для четырех групп НО, поставляемого на территории Республики Крым специализированным предприятием, деятельностью которого является реализация и гарантийное обслуживание насосных агрегатов СВВ.

Рассмотрены и проанализированы основные причины, формирующие базу отказов НО, с выявлением превалирующих причин их возникновения: эксплуатационные, конструкционные или же ошибка проектировщика.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов, Н.Н. Надежность систем водоснабжения / Н.Н. Абрамов. – М.: Стройиздат, 1984. – 216 с.
2. Ильин, Ю.А. Надежность водопроводных сооружений и оборудования / Ю.А. Ильин. – М.: Стройиздат, 1985. – 240 с.
3. Ильин, Ю.А. Расчет надежности подачи воды / Ю.А. Ильин. – М.: Стройиздат, 1987. – 320 с.
4. Найманов, А.Я. Расчет показателей надежности водопроводных насосных станций / А.Я. Найманов, Ю.В. Гостева // Науковий вісник будівництва. Зб наук. праць. – Харків. – 2012. – Вип. 70 – С. 307-312.
5. Новохатній, В.Г. Принципи оцінювання надійності систем виробничого водопостачання / В.Г. Новохатній, С.О. Костенко // Науковий вісник будівництва. Зб. наук. праць. – Харків. – 2012. – Вип. 70 – С. 252-255.
6. Скворцов, Л.С. Компрессорные и насосные установки / Л.С. Скворцов, В.А. Рачицкий, В.Б. Ровенский. – М.: Машиностроение, 1988. – 264 с.
7. Березин, С.Е. Насосные станции с погружными насосами. Расчет и проектирование / С.Е. Березин. – М.: ОАО «Издательство «Стройиздат», 2008. – 160 с.
8. Залуцкий, Э.В. Насосные станции. Курсовое проектирование / Э.В. Залуцкий, А.И. Петрухно. – К.: Вища школа, 1987. – 167 с.
9. Турк, В.И. Насосы и насосные станции / В.И. Турк – М.: Госстройиздат, 1957. – 182 с.
10. Турк, В.И. Насосы и насосные станции / В.И. Турк, А.В. Минаев, В.Я. Карелин – М.: Стройиздат, 1977. – 296 с.
11. Прейсман, В.И. Основы надежности сельскохозяйственной техники / В.И. Прейсман – К.: Вища школа, 1988. – 247 с.
12. СП 31.13330.2012. Свод правил. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.

Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84\*. – Введ. 2013-01-01. – М.: Минрегион России, 2012. – 124 с.

### REFERENCES

1. Abramov, N. N. Reliability of water supply systems / N.N. Abramov. – M.: Stroyizdat, 1984. – 216 p.
2. Ilyin, Yu. A. Reliability of water supply structures and equipment / Yu.A. Ilyin. – M.: Stroyizdat, 1985. – 240 p.
3. Ilyin, Yu. A. Calculation of the reliability of water supply / Yu. A. Ilyin. – M.: Stroyizdat, 1987. – 320 p.
4. Naimanov, A. Ya. Calculation of reliability indicators of water pumping stations / A.Ya. Naimanov, Yu.V. Gosteva // Naukoviy visnik budivnitstva. Zb of Sciences. prats. – Harkiv. – 2012. – Vip. 70. – P. 307-312.
5. Novokhatny, V. G. Principi otsinyuvannya nadiynosti sistem virobничого vodopostachannya / V.G. Novokhatny, S.O. Kostenko // Naukoviy visnik budivnitva. Zb. nauk. prats. – Harkiv. – 2012. – Vip. 70. – P. 252-255.
6. Skvortsov, L.S. Compressor and pump installations / L.S. Skvortsov, V.A. Rachitsky, V.B. Rovensky. – M.: Mashinostroenie, 1988. – 264 p.
7. Berezin, S.E. Pumping stations with submersible pumps. Calculation and construction / S.E. Berezin. – M.: JSC "Publishing House "Stroyizdat", 2008. – 160 p.
8. Zalutsky, E. V. Pumping stations. Course design [Text]: / E. V. Zalutsky, A. I. Petrukhno. - K.: Vishcha shkola, 1987. – 167 p.
9. Turk, V.I. Pumps and pumping stations / V. I. Turk-M.: Gosstroizdat, 1957. – 182 p.
10. Turk, V.I. Pumps and pumping stations / V.I. Turk, A.V. Minaev, V.Ya. Karelin-M.: Stroyizdat, 1977. – 296 p.
11. Preysman, V. I. Fundamentals of reliability of agricultural machinery / V.I. Preysman – K.: Vishcha shkola, 1988. – 247 p.
12. SP 31.13330.2012. A set of rules. Water supply. Outdoor networks and structures [Text]. Updated version of SNiP 2.04.02-84\*. – Introduction. 2013-01-01. – Moscow: Minregion of Russia, 2012. – 124 p.

DETERMINATION THE PERIOD OF GUARANTEED TROUBLE-FREE OPERATION OF THE HYDRAULIC SCHEMES BASED ON THE OPERATIONAL RELIABILITY INDICATORS OF PUMPING UNITS

PART 1. Analysis of operational failures of pumping units and determination of their reliability indicators

Nikolenko I.V.<sup>1</sup>, Kotovskaya E.E.<sup>1</sup>, Budchany A.O.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>V.I. Vernadsky Crimean Federal University, 295007, Simferopol, Prospect Academic Vernadsky 4, Russia

<sup>2</sup>LLC "H2O-Crimea"

**Abstract.** The article presents the values of the failure rate for modern types of pumps of four groups: submersible, designed for drainage and wastewater drainage; domestic; cantilever; submersible - for artesian water intake based on statistical data processing on their operation. The obtained values of the failure rate allow us to evaluate the reliability indicators of hydraulic circuits that use various types of pumping equipment. The article analyzes the failures of pumping equipment with their detailed description and presentation of practical photos accumulated at a specialized enterprise, whose activities are aimed at designing pumping stations, supply, installation and maintenance of pumping equipment on the territory of the Republic of Crimea.

**The subject of the study.** Patterns of occurrence, nature and types of failures of pumping units of water supply and sanitation systems under operating conditions with the development of analytical and statistical models for assessing their reliability.

**Materials and methods of research.** Information on failures and operating time for failure of pumping units of water supply and sanitation systems in operating conditions to determine the reliability characteristics based on the processing of databases using mathematical statistics, for subsequent analysis and development of recommendations for the design and operation of hydraulic systems.

**Results.** Improving the efficiency of pumping units of water supply and sanitation systems by identifying real indicators of the reliability of pumping equipment,

**Conclusions.** Based on the results of the performed analysis, the main causes that form the basis of pump equipment failures are identified, with the identification of the prevailing causes of their occurrence: operational, structural, or designer error. The reliability parameters were evaluated for four groups of pumping equipment sold on the territory of the Republic of Crimea.

**Key words:** Failure, pumping equipment, operating time to failure, reliability, failure rate, hydraulic circuit, reliability indicators, failure rate, quantitative assessment, guaranteed operation limits, confidence interval, cavitation.

## ВАРИАТИВНЫЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ МНОГОФАКТОРНЫХ ПРОЦЕССОВ

Селезнёв И.В.<sup>1</sup>, Конопацкий Е.В.<sup>2</sup>, Воронова О.С.<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»  
ДНР, г. Макеевка, ул. Державина 2

<sup>1</sup> i.v.seleznyov@yandex.ru; <sup>2</sup> e.v.konopatskiy@mail.ru; <sup>3</sup> kornilova.oly@mail.ru

**Аннотация.** В работе исследовано влияние вариативных геометрических алгоритмов при моделировании многофакторных процессов с помощью многомерной интерполяции. Геометрическим моделям многофакторных процессов, полученным при помощи многомерной интерполяции присуща вариативность, которая является следствием множественности выбора опорных линий в ходе разработки геометрических схем моделирования. При этом все возможные вариации геометрических интерполянтов полностью удовлетворяют исходным данным. Установлено, что количество вариаций геометрических схем напрямую зависит от количества текущих параметров и размерности пространства, в котором располагается моделируемый геометрический объект. Таким образом, вариативный подход к геометрическому моделированию многофакторных процессов порождает целый ряд научных задач, основная из которых – необходимость определения влияния вариативности геометрических алгоритмов на конечные результаты вычислительного эксперимента и, как следствие, выбор наилучших результатов моделирования. Для этого в статье приведены исследования вариативных геометрических алгоритмов и вычислительных экспериментов на примере 2-параметрических геометрических интерполянтов. Предложена классификация 2-параметрических геометрических интерполянтов, которые были условно разделены на 3 вида. В зависимости от геометрической схемы построения интерполянта были выделены: квадратная геометрическая схема, прямоугольная геометрическая схема, смешанная геометрическая схема. В результате вычислительных экспериментов установлено, что для квадратной геометрической схемы вариативность не оказывает влияние на итоговые результаты, в прямоугольных геометрических схемах вариативность оказывает незначительное влияние, а смешанные геометрические схемы могут иметь значительные отличия и требуют дополнительных исследований для выбора наиболее качественной геометрической модели процесса. Сравнение геометрических моделей были выполнены методами научной визуализации путём наложения поверхностей отклика друг на друга.

**Ключевые слова:** геометрическое моделирование, вариативные геометрические алгоритмы, многофакторный процесс, поверхность отклика, геометрический интерполянт, точечное исчисление.

### ВВЕДЕНИЕ

Построение, анализ и оптимизация многофакторных процессов и явлений – это неотъемлемая задача любого исследования. Для выполнения подобных задач существует обширный набор инструментов и способов из реализации [1-4]. Тем не менее, известные методы математического моделирования не всегда могут обеспечить требуемый функционал для исследователя, поскольку процесс моделирования происходит с поочерёдным анализом влияющих факторов, что лишает возможности оценить влияние того или иного фактора на всю систему в целом. Более эффективным методом для решения подобного рода задач являются методы многомерной геометрии, суть которых заключается в представлении исследуемого многофакторного процесса в виде многопараметрического геометрического объекта, проходящего через наперёд заданные точки, принадлежащего многомерному аффинному пространству. В процессе формирования геометрической модели возникает многовариантность, заключающаяся в выборе геометрического интерполянта, размерность которого тесно связана с количеством возможных

вариаций. При этом число опорных кривых и количество точек, через которую она проходит, зависит исключительно от субъективного выбора исследователя. Например, для двухпараметрического геометрического интерполянта существует возможность на одной и той же сети точек получить минимум две разных геометрических модели, путём выбора направляющих и образующей линий поверхности отклика. В результате получим, минимум две разные модели, проходящие через одни и те же наперёд заданные точки, координаты которых соответствуют исходным экспериментально-статистическим данным, с различной кривизной между узловыми точками интерполяции. Цель данной работы – исследовать влияние вариативных геометрических схем на искомую модель процесса на примере моделирования двухфакторных процессов, представленных в виде поверхностей отклика.

### Особенности определения вариативных схем построения геометрических интерполянтов

Для моделирования многофакторных процессов с помощью геометрической теории многомерной интерполяции [5-7] необходимо разработать и

аналитически описать геометрическую схему его графического построения при помощи математического аппарата «Точечное исчисление» [4-9]. Процесс построения геометрической схемы обусловлен исходными данными для моделирования, несмотря на это можно выделить два основных принципа формирования таких схем, которые получили название дерева геометрической модели [6].

1. Любой сложный интерполянт можно представить в виде суммы более простых

интерполянтов, объединённых между собой с помощью образующей линией. К примеру, 2-параметрический интерполянт, можно представить как совокупность опорных линий, проходящих через наперёд заданные точки, объединённых с помощью образующей линии (рис. 1а). Благодаря такому представлению системы формируется дерево геометрической модели. Сменив направляющие линии, проходящие через те же самые исходные точки, получим другое дерево геометрической модели (рис. 1б).

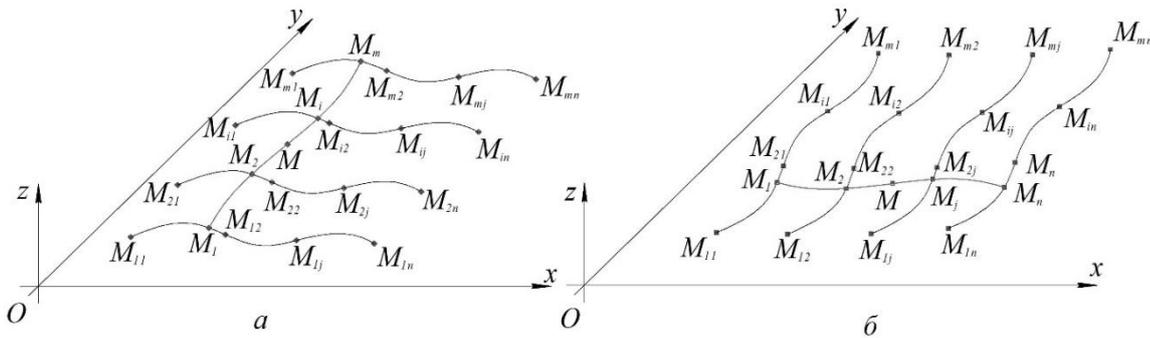


Рис. 1. Геометрические схемы моделирования двухфакторного процесса.  
Fig. 1. Geometric schemes for modeling the two-factor process.

Оси  $Ox$  и  $Oy$  (рис. 1) соответствуют факторам, влияющим на процесс, а ось  $Oz$  – искомая функция отклика. Аналитически варианты геометрической модели 2-х факторного процесса можно описать в виде следующих последовательностей точечных уравнений:

$$\left[ \begin{array}{l} M_1 = \sum_{j=1}^n M_{1j} p_{1j}(u); \\ \dots \\ M_i = \sum_{j=1}^n M_{ij} p_{ij}(u); \\ \dots \\ M_m = \sum_{j=1}^n M_{mj} p_{mj}(u); \\ M = \sum_{i=1}^m M_i q_i(w). \end{array} \right. \quad \left[ \begin{array}{l} M_1 = \sum_{i=1}^m M_{i1} p_{i1}(u); \\ \dots \\ M_j = \sum_{i=1}^m M_{ij} p_{ij}(u); \\ \dots \\ M_m = \sum_{i=1}^m M_{in} p_{in}(u); \\ M = \sum_{j=1}^n M_j q_j(w). \end{array} \right.$$

В основе моделирования многофакторных процессов положен простейший принцип принадлежности одного геометрического объекта к другому из начертательной геометрии [10]. К примеру, прямая линия принадлежит плоскости, при условии того, что две точки этой прямой принадлежат этой же плоскости. А точка принадлежит плоскости если она принадлежит прямой, лежащей в этой плоскости. Представив прямую, как частный случай кривой, а плоскость – как частный случай поверхности, тогда можно сделать вывод о том, что исходные точки будут принадлежать поверхности, если сгруппировать их

в направляющие линии, объединив с помощью образующей. В таком случае, точки принадлежащие опорным линиям, также будут принадлежать искомой поверхности. Образующая в этом случае является линией, проходящей через текущие точки направляющих линий искомой поверхности.

Аналогичным образом 3-факторная модель процесса определяется трёхпараметрическим множеством точек – гиперповерхностью 4-мерного пространства, проходящей через наперёд заданные точки (рис. 2). В этом случае, количество возможных комбинаций выбора направляющих и образующих линий резко возрастает.

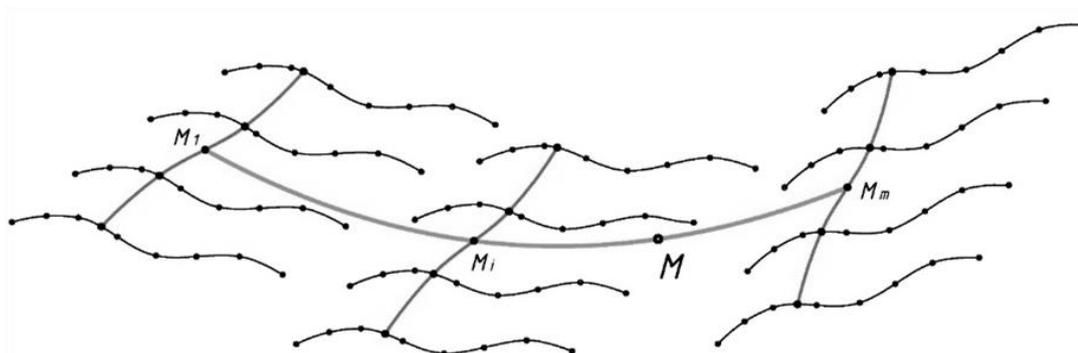


Рис. 2. Дерево геометрической модели 3-факторного процесса.

Fig. 2. Geometric model tree of the 3-factor process.

Все 2-параметрические геометрические интерполянты можно условно разделить на 3 вида в зависимости от количества и расположения исходных точек в 3-мерном пространстве:

1. Квадратная геометрическая схема, у которой количество экспериментальных точек на каждой опорной линии является одинаковым и совпадает с количеством опорных линий. Например, три опорных линии с тремя точками на каждой из них формируют 2-параметрический геометрический интерполянт, проходящий через 9 наперёд заданных точек (рис. 3а).

2. Прямоугольная геометрическая схема, у которой количество экспериментальных точек на каждой опорной линии является одинаковым, но количество опорных линий отличается от

количества экспериментальных точек. Например, четыре опорных линии по пять точек на каждой из них формируют 2-параметрический геометрический интерполянт проходящий через 20 наперёд заданных точек (рис. 3б).

3. Смешанная геометрическая схема, у которой количество экспериментальных точек на опорных линиях и количество самих линий никак не связаны. Например, первая опорная линия с пятью точками, вторая и четвертая опорные линии с семью точками, третья опорная линия с тремя точками, пятая опорная линия с девятью точками и шестая опорная с четырьмя точками на каждой из них формирует 2-параметрический геометрический интерполянт проходящий через 35 наперёд заданных точек (рис. 3в).

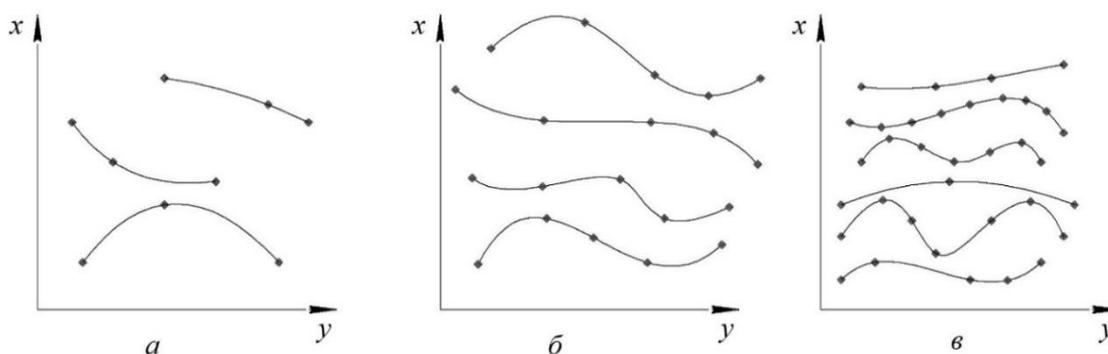


Рис. 3 Виды геометрических схем в зависимости от количества и расположения исходных точек в пространстве.

Fig. 3 Types of geometrical schemes depending on the number and location of initial points in space.

Исследуем влияние выбора опорных линий в процессе построения геометрической схемы модели процесса на примерах, представленных в виде квадратной, прямоугольной и смешанной геометрической схемы. Для сравнения геометрических интерполянтов в различных вариациях воспользуемся методами научной визуализации путём наложения поверхностей друг на друга.

### Вариативные модели с квадратной геометрической схемой построения поверхности отклика

В первом примере рассмотрим квадратную геометрическую схему, построенную по геометрической модели зависимости степени сухости пара от температуры и удельного объёма хладагента R407C. На основании диаграммы (рис. 4) установим экспериментальные точки.

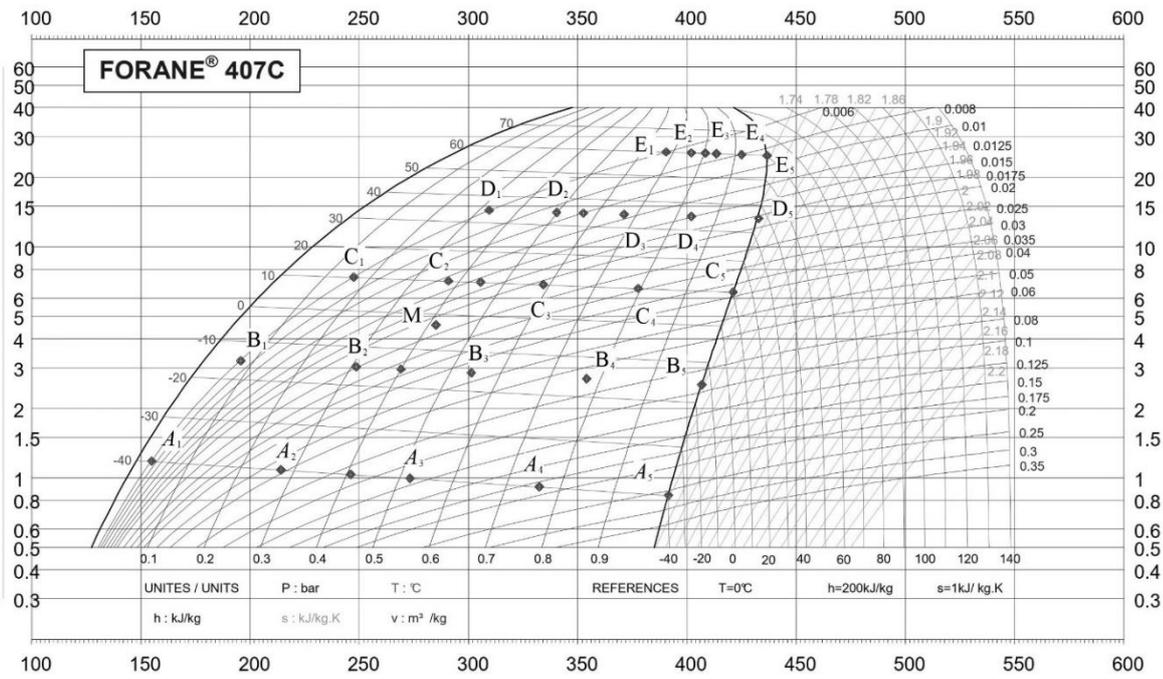


Рис. 4. Диаграмма физического состояния хладагента.  
Fig. 4. Refrigerant physical state diagram.

Сгруппируем 25 исходных точек так, чтобы они образовали пять опорных линий:  $A_1A_2A_3A_4A_5$ ,  $B_1B_2B_3B_4B_5$ ,  $C_1C_2C_3C_4C_5$ ,  $D_1D_2D_3D_4D_5$ , и  $E_1E_2E_3E_4E_5$ . В результате получим геометрическую схему с пятью опорными линиями и образующей (рис. 5 а). Оси координат (рис. 5) имеют следующие обозначения:  $Ot$  – температура хладагента,  $Ov$  – удельный объем,  $Ox$  – степень сухости пара. Для более наглядного изображения схем был выбран разный масштаб по осям.

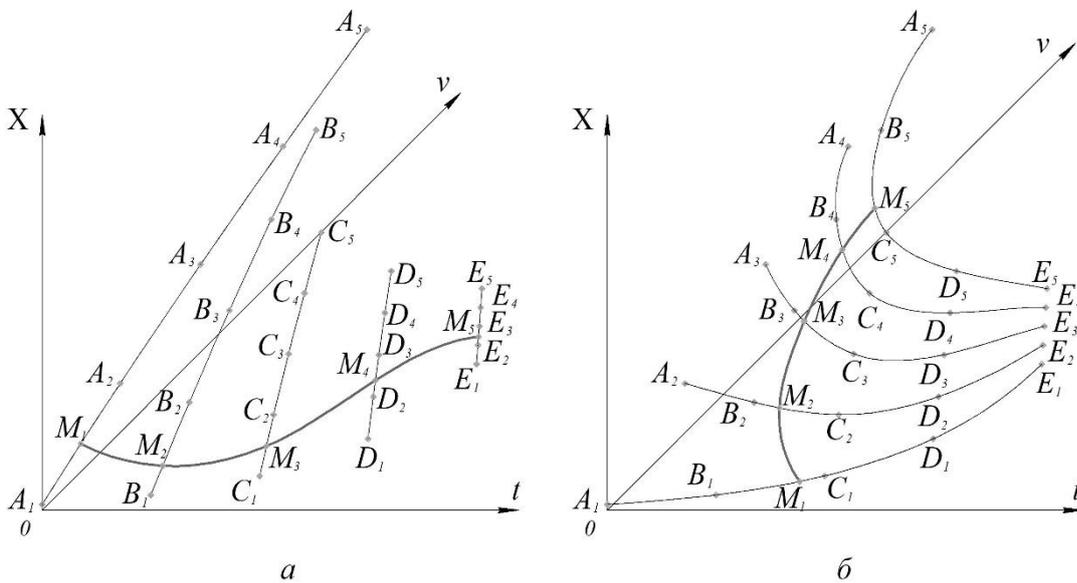


Рис. 5. Вариативные квадратные геометрические схемы.  
Fig. 5. Variable square geometric patterns.

Исходные данные для геометрического моделирования, были получены по термодинамической диаграмме  $\log P-h$  (рис. 4) и

определены с помощью системы автоматизированного проектирования КОМПАС-3D при значительном увеличении (табл. 1).

**Таблица 1.** Исходные данные для геометрического моделирования физического состояния хладагента R407C.

**Table 1.** Initial data for geometrical modeling of physical state of R407C refrigerant.

№ п/п	Наименование точек	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$X, \%$	№ п/п	Наименование точек	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$X, \%$
1	$A_1$	-40	0,006	0,0276	14	$C_4$	10	0,0301	0,8425
2	$A_2$	-40	0,05	0,242	15	$C_5$	10	0,0382	1
3	$A_3$	-40	0,1	0,455	16	$D_1$	35	0,006	0,33
4	$A_4$	-40	0,175	0,729	17	$D_2$	35	0,009	0,518
5	$A_5$	-40	0,264	1	18	$D_3$	35	0,0125	0,706
6	$B_1$	-15	0,006	0,072	19	$D_4$	35	0,0152	0,853
7	$B_2$	-15	0,02	0,254	20	$D_5$	35	0,018	1
8	$B_3$	-15	0,04	0,491	21	$E_1$	60	0,006	0,678
9	$B_4$	-15	0,06	0,705	22	$E_2$	60	0,0067	0,764
10	$B_5$	-15	0,092	1	23	$E_3$	60	0,0075	0,85
11	$C_1$	10	0,006	0,161	24	$E_4$	60	0,0081	0,925
12	$C_2$	10	0,0125	0,351	25	$E_5$	60	0,0088	1
13	$C_3$	10	0,025	0,685					

По геометрической схеме (рис. 5а), определим уравнения для опорных линии как дуги параболы 4-го порядка проходящих через пять наперёд

заданные точки. Например, точечное уравнение линии  $A_1A_2A_3A_4A_5$  имеет следующий вид:

$$M_1 = A_1(\bar{u}^4 - \frac{13}{3}\bar{u}\bar{u}^3 + \frac{13}{3}\bar{u}^2\bar{u}^2 - \bar{u}\bar{u}^3) + A_2(16\bar{u}\bar{u}^3 - \frac{64}{3}\bar{u}^2\bar{u}^2 + \frac{16}{3}\bar{u}\bar{u}^3) + A_3(-12\bar{u}\bar{u}^3 + 40\bar{u}^2\bar{u}^2 - 12\bar{u}\bar{u}^3) + A_4(\frac{16}{3}\bar{u}\bar{u}^3 - \frac{64}{3}\bar{u}^2\bar{u}^2 + 16\bar{u}\bar{u}^3) + A_5(-\bar{u}\bar{u}^3 + \frac{13}{3}\bar{u}^2\bar{u}^2 - \frac{13}{3}\bar{u}\bar{u}^3 + \bar{u}^4), \quad (10)$$

где  $0 \leq u \leq 1$ ,  $\bar{u} = (1-u)$ .

Для других опорных линий применяться аналогичные точечные уравнения. Образующую линию поверхности, представим как кривую,

проходящую через пять точек  $M_1, M_2, M_3, M_4$  и  $M_5$ , точечное уравнение которой имеет вид:

$$M = M_1(\bar{w}^4 - \frac{13}{3}\bar{w}\bar{w}^3 + \frac{13}{3}\bar{w}^2\bar{w}^2 - \bar{w}\bar{w}^3) + M_2(16\bar{w}\bar{w}^3 - \frac{64}{3}\bar{w}^2\bar{w}^2 + \frac{16}{3}\bar{w}\bar{w}^3) + M_3(-12\bar{w}\bar{w}^3 + 40\bar{w}^2\bar{w}^2 - 12\bar{w}\bar{w}^3) + M_4(\frac{16}{3}\bar{w}\bar{w}^3 - \frac{64}{3}\bar{w}^2\bar{w}^2 + 16\bar{w}\bar{w}^3) + M_5(-\bar{w}\bar{w}^3 + \frac{13}{3}\bar{w}^2\bar{w}^2 - \frac{13}{3}\bar{w}\bar{w}^3 + \bar{w}^4), \quad (11)$$

ГДЕ  $0 \leq w \leq 1$ , а  $\bar{w} = (1-w)$ .

С учётом исходных данных из (табл. 1) и по координатного расчёта получим систему параметрических уравнений, где  $t, v$  и  $X$  являются

координатами текущей точки отсека поверхности, проходящей через наперёд заданные 25 точек:

$$\begin{cases} t = 100w - 40; \\ v = 0,006 + (-0,32 - 12,26w^4 + 28,06w^3 - 21,28w^2 + 5,80w)u^4 + (0,68 + 23,71w^4 - 54,36w^3 + 41,42w^2 - 11,46w)u^3 + (-0,32 - 14,06w^4 + 32w^3 - 24,04w^2 + 6,43w)u^2 + (0,21 + 3,27w^4 - 7,6w^3 + 5,98w^2 - 1,87w)u; \\ X = (-1,34 - 134,03w^4 + 286,74w^3 - 198,23w^2 + 46,88w)u^4 + (262,10w^4 - 560,03w^3 + 386,69w^2 - 91,49w + 2,68)u^3 + (-156,78w^4 + 337w^3 - 233,99w^2 + 55,23w - 1,43)u^2 + (1,07 + 28,02w^4 - 63,08w^3 + 45w^2 - 10,69w)u + 0,0276 + 0,072w + 0,67w^4 - 0,64w^3 + 0,54w^2. \end{cases} \quad (12)$$

Рассмотрим другую геометрическую схему (рис. 5б), построенную на тех же исходных данных (табл. 1). Сформируем опорные линии проходящие через пять точек каждая:  $A_i, B_i, C_i, D_i$  и  $E_i$ :

$$M_i = A_i(\bar{u}^4 - \frac{13}{3}u\bar{u}^3 + \frac{13}{3}\bar{u}^2u^2 - \bar{u}u^3) + B_i(16u\bar{u}^3 - \frac{64}{3}\bar{u}^2u^2 + \frac{16}{3}u\bar{u}^3) + C_i(-12u\bar{u}^3 + 40\bar{u}^2u^2 - 12\bar{u}u^3) + D_i(\frac{16}{3}u\bar{u}^3 - \frac{64}{3}\bar{u}^2u^2 + 16\bar{u}u^3) + E_i(-u\bar{u}^3 + \frac{13}{3}\bar{u}^2u^2 - \frac{13}{3}u\bar{u}^3 + u^4), \quad (13)$$

где  $0 \leq u \leq 1$ ,  $\bar{u} = (1-u)$ , а  $i$  от 1 до 5.

Образующую линию определим с помощью параметра  $w$  точечным уравнением (11). Подставим в уравнение исходные данные из (табл. 1), в результате получим систему параметрических уравнений которая полностью совпадает с системой параметрических уравнений (12) с точностью до полиномиальных коэффициентов.

На основании полного совпадения систем параметрических уравнений можно сделать вывод о том, что геометрические модели с квадратной геометрической схемой построения представленной на (рис. 3а,б) полностью совпадают. А это значит, что модели с геометрической квадратной схемой не зависят от выбора направления опорных линий.

### Вариативные геометрические модели с прямоугольной геометрической схемой построения поверхности отклика

Во втором примере рассмотрим прямоугольную геометрическую схему построения геометрической модели зависимости прочностных характеристик дегтеполимербетона от концентрации доломитовой пыли и температуры, предложенную в работе [11]. Геометрическая схема моделирования физико-механических свойств в работе [11] представлена на рис. 6а.

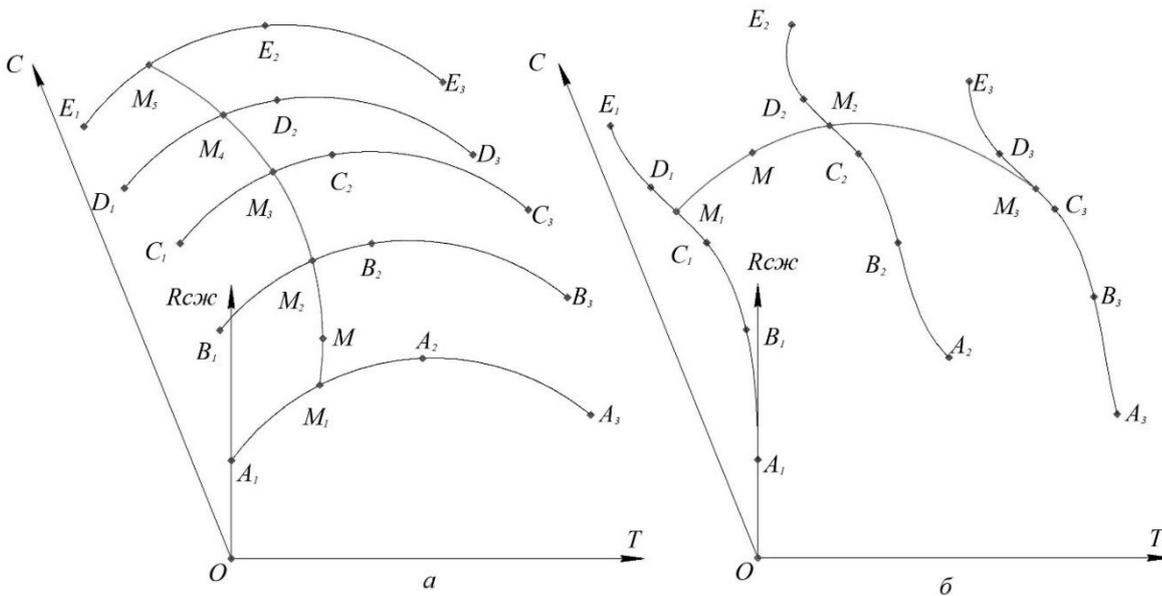


Рис. 6. Вариативные прямоугольные геометрические схемы.  
 Fig. 6. Variable rectangular geometric patterns.

В соответствии с геометрической схемой (рис. 6 а) поверхность определяется пятью опорными линиями:  $A_1A_2A_3$ ,  $B_1B_2B_3$ ,  $C_1C_2C_3$ ,  $D_1D_2D_3$ , и  $E_1E_2E_3$ , точечные уравнения которых выражены как дуги парабол 2-го порядка:

$$M_1 = A_1\bar{u}(1-2u) + 4A_2u\bar{u} + A_3u(2u-1), \quad (14)$$

где  $0 \leq u \leq 1$ , а  $\bar{u} = (1-u)$ .

Определение других опорных линий  $M_2, M_3, M_4$  и  $M_5$  выполняется аналогичным образом. Образующая линия, определяется как кривая, проходящая через пять точек:  $M_1, M_2, M_3, M_4$  и  $M_5$ , точечное уравнение

которой имеет вид (11). С учётом покоординатного расчёта, в работе [11] получена система параметрических уравнений:

$$\begin{cases} T = 20u^2 + 30u, \\ C = w^4 + 5,33w^3 - 4w^2 + 2,6w, \\ Rcж = (-17,06u^2 + 19,2u + 9,6)w^4 + (14,9u^2 - 19,2u - 18,6)w^3 + \\ + (5,8u^2 + 4,4u + 1,7)w^2 + (8,5 - 4,5u^2 - 4,6u)w + 6 - 10,6u + 5,2u^2. \end{cases} \quad (15)$$

Рассмотрим другую геометрическую схему (рис. 6б), сформировав три опорных линии состоящих из пяти точек:  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $C_1$ ,  $D_1$  и  $E_1$ , тогда точечные уравнения примут вид аналогичный уравнению (13). Расчёт опорных линий  $M_1$ ,  $M_2$  и  $M_3$  выполняется по уравнению (13). Уравнение образующей кривой с учетом изменения в геометрической схеме примет вид аналогичный (14):

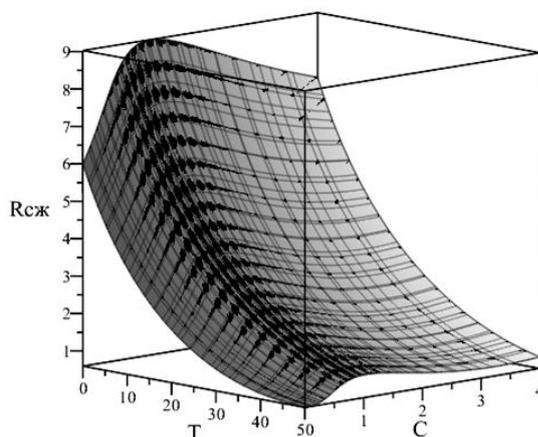
$$M = M_1\bar{w}(1-2w) + 4M_2w\bar{w} + M_3w(2w-1), \quad (16)$$

где  $0 \leq w \leq 1$ , а  $\bar{w} = (1-w)$ .

Воспользуемся исходными данными из (табл. 2) и получим следующую систему параметрических уравнений:

$$\begin{cases} T = 20u^2 + 30u, \\ C = w^4 + 5,34w^3 - 4w^2 + 2,7w \\ Rcж = (19,2u - 17,06u^2 + 9,59)w^4 + (-19,2u + 14,9u^2 - 18,7)w^3 + \\ + (1,8 + 5,9u^2 + 4,4u)w^2 + (8,6 - 4,5u^2 - 4,6u)w + 6 - 10,6u + 5,2u^2. \end{cases} \quad (17)$$

Выполним визуальное сравнение двух моделей путём наложений их друг на друга. На рис. 7 серым цветом обозначена эталонная поверхность, которая соответствует геометрической схеме (рис. 6а), а черным цветом обозначена поверхность, полученная по геометрической схеме (рис. 6б).



**Рис. 7.** Сравнение вариативных прямоугольные геометрических схем.  
**Fig. 7.** Comparison of variation rectangular geometric schemes.

Из визуального сравнения представленного на (рис. 7) видно, что геометрические модели почти полностью совпадают. При сравнении уравнений (15) и (17) видно, что полиномиальные коэффициенты являются практически одинаковыми, разницу между ними можно считать результатом погрешности вычислений и округлений. Из этого следует, что в моделях, которые относятся к прямоугольным, выбор направления опорных и образующей кривой, оказывает незначительное влияние.

Следует отметить, что в данном случае близкое совпадение геометрических моделей может быть связано с тем, что описывающая функция является гладкой. Для других геометрических моделей требуется проведение дополнительных исследований.

**Вариативные геометрические модели с смешанной геометрической схемой построения поверхности отклика**

В третьем случае рассмотрим смешанную геометрическую схему, на примере моделирования зависимости степени сухости пара от температуры и удельного объёма хладагента R407C.

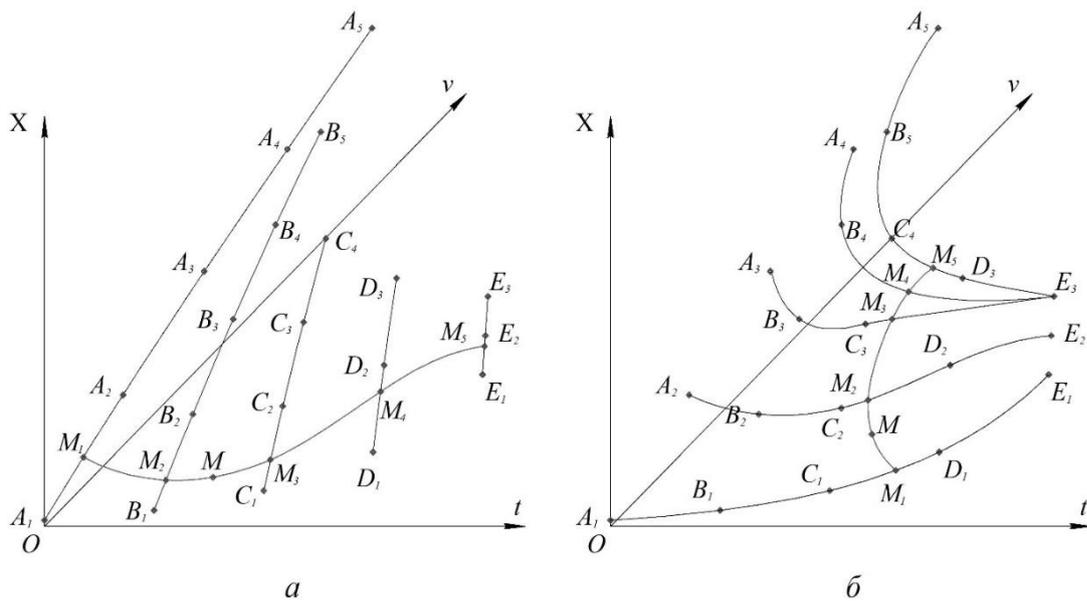
Предложенная в работе [12] геометрическая модель выполнена с неравномерным распределением экспериментальных точек (рис. 8а).

В ходе геометрического моделирования были использованы исходные данные из работы [12], в

которой сгруппировано 20 точек так, что они образуют геометрическую схему из пяти опорных линий (рис. 8а). Определим их как дуги параболы 4-го порядка, расчёт которых выполняется по уравнению (10) для  $A_1A_2A_3A_4A_5$  и  $B_1B_2B_3B_4B_5$ ; уравнение 3-го порядка, проходящая через 4 наперёд заданные точки для  $C_1C_2C_3C_4$ ; уравнение дуги параболы 2-го порядка решённых аналогично уравнению (16) для  $D_1D_2D_3$  и  $E_1E_2E_3$ .

После покоординатного расчёта с учётом исходных данных [12], получим:

$$\begin{cases} t = -40 + 100u, \\ v = 0.006 + (-0.32 - 11.60u^4 + 26.96u^3 - 20.77u^2 + 5.73u)w^4 + (0.68 + 20.77u^4 - 48.94u^3 + 38.52u^2 - \\ - 11.034u)w^3 + (-0.32 - 9.84u^4 + 23.87u^3 - 19.43u^2 + 5.72u)w^2 + (0.21 + 1.34u^4 - 3.79u^3 + 3.76u^2 - 1.53u)w, \\ X = (-97.21u^4 + 222.32u^3 - 166.05u^2 + 42.29u - 1.34)w^4 + (141.47u^4 - 337.21u^3 + 266.55u^2 - 73.5u + 2.68)w^3 + \\ + (-22.73u^4 + 80.22u^3 - 89.05u^2 + 32.94u - 1.43)w^2 + (-22.20u^4 + 35.3u^3 - 11.98u^2 - 1.814u + 1.07)w + \\ + 0.54u^2 + 0.0276 + 0.072u + 0.67u^4 - 0.64u^3. \end{cases}$$



**Рис. 8.** Вариативные смешанные геометрические схемы.  
**Fig. 8.** Variable mixed geometric patterns.

В случае преобразования, получим иную геометрическую модель (рис. 8б), где опорные линии будут рассчитываться как кривые, проходящие через пять точек:  $A_i$ ,  $B_i$ ,  $C_i$ ,  $D_i$  и  $E_i$ :

$$\begin{aligned} M_i = & A_i(\bar{w}^4 - \frac{13}{3}w\bar{w}^3 + \frac{13}{3}\bar{w}^2w^2 - \bar{w}w^3) + B_i(16w\bar{w}^3 - \frac{64}{3}\bar{w}^2w^2 + \frac{16}{3}\bar{w}w^3) + C_i(-12w\bar{w}^3 + 40\bar{w}^2w^2 - 12\bar{w}w^3) + \\ & + D_i(\frac{16}{3}w\bar{w}^3 - \frac{64}{3}\bar{w}^2w^2 + 16\bar{w}w^3) + E_i(-w\bar{w}^3 + \frac{13}{3}\bar{w}^2w^2 - \frac{13}{3}\bar{w}w^3 + w^4), \end{aligned}$$

где  $0 \leq w \leq 1$ , а  $\bar{w} = (1-w)$ .

Уравнение образующей будет иметь вид аналогичный уравнению (11), а система параметрических уравнений:

$$\begin{cases} t = -40 - 9600u\bar{u}^2\bar{u}w^3 + (16000u^4 - 32000u^3 + 19600u^2 - 3600u)w^2 - 6400\bar{u}\bar{u}^2\bar{u}w, \\ v = 0.006 + (-0.32 + 7.05u^4 - 4.36u^3 - 9.84u^2 + 7.47u)w^4 + (0.68 - 10.58u^4 + 0.67u^3 + 25.96u^2 - 16.71u)w^3 + \\ + (-0.32 + 4.84u^4 + 2.84u^3 - 17.78u^2 + 10.38u)w^2 + (0.21 - 0.661u^4 - 1.04u^3 + 3.74u^2 - 2.24u)w, \\ X = (0.67 + 7.23w^4 - 18.09w^3 + 15.82w^2 - 5.65w)u^4 + (-102.44w^4 + 214.82w^3 - 144.24w^2 + 32.5w - 0.64)u^3 + \\ + (125.63w^4 - 256.78w^3 + 163.81w^2 - 33.20w + 0.54)u^2 + (-29.31w^4 + 59.54w^3 - 36.87w^2 + 6.56w + 0.072)u - \\ + 1.43w^2 + 0.0276 + 1.07w - 1.34w^4 + 2.68w^3. \end{cases}$$

Воспользуемся системой компьютерной алгебры для того, чтобы произвести визуальное сравнение двух моделей (рис. 9). Где черным цветом обозначена эталонная поверхность, которая

соответствует геометрической схеме, представленной в работе [12] (рис. 8а), а серым цветом обозначена поверхность, полученная по геометрической схеме (рис. 8б).

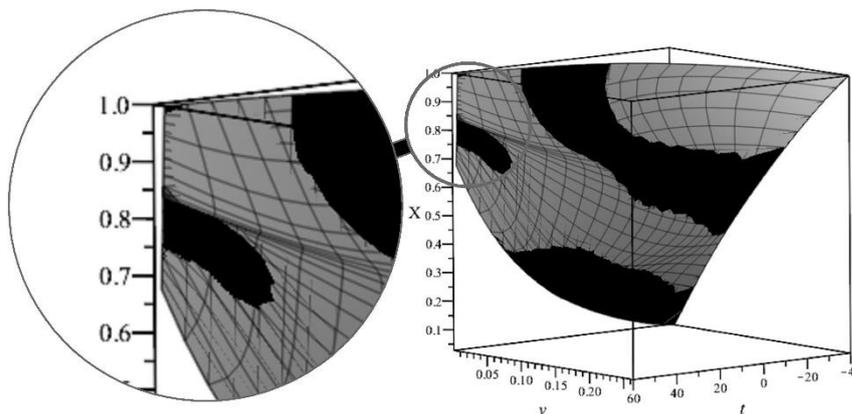


Рис. 9. Сравнение вариативных смешанных геометрических схем.

Fig. 9. Comparison of variational mixed geometric schemes.

Из визуального сравнения представленного на (рис. 9) видно, что геометрические модели частично совпадают, кроме участка в районе, где опорные линии имеют общую точку. В этом месте имеет место самопересечение поверхности отклика, построенной по геометрической схеме (рис. 8б). Учитывая это можно сделать вывод, о том, что модели с неравномерным распределением исходных данных могут иметь значительные отличия и требуют дополнительных исследований для выбора более качественной геометрической модели процесса. Важно отметить, что на рис. 8б в качестве примера изображен всего один из возможных вариантов построения геометрической схемы модели процесса. При этом разные геометрические схемы будут давать модели, обладающие разными геометрическими свойствами, но проходящими через исходные узловые точки интерполяции.

## ВЫВОДЫ

В работе рассмотрено влияние вариативных геометрических алгоритмов моделирования многофакторных процессов с помощью многомерной интерполяции. На примере построения геометрических схем моделирования двумерных геометрических интерполянтов показано влияние выбора опорных линий, на искомую поверхность отклика. В результате вычислительных экспериментов установлено, что

для квадратной геометрической схемы вариативность не влияет на итоговые результаты так как системы параметрических уравнений полностью совпали на уровне полиномиальных коэффициентов, в прямоугольной геометрической схеме вариативность оказывает незначительное влияние поскольку полиномиальные коэффициенты являются практически одинаковыми и разницу между ними можно считать результатом погрешности вычислений и округлений. Смешанные геометрические схемы могут иметь значительные отличия геометрической формы, связанные с наличием кратных точек интерполяции, что вызывает самопересечение поверхности. Такие геометрические схемы требуют дополнительных исследований для выбора наиболее качественной геометрической модели процесса.

Перспективой дальнейших исследований является дальнейшее развитие вариативного подхода к геометрическому моделированию многофакторных процессов с помощью многомерной интерполяции, в частности, разработку инструментов сравнения геометрических объектов многомерного пространства и критериев выбора наилучших решений из имеющихся вариаций.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пахнатов И.А. Многомерная интерполяция // Интерактивная наука. 2017. №5(15). С. 83-87.

2. Шитова М.В., Кривель С.М. Итеративная методика и программа ЭВМ аппроксимации и интерполяции многомерных данных // Вестник Иркутского университета. 2020. № 23. С. 59-61.

3. Глазунова Е.В., Деулин А.А., Куликов М.С., Старостин Н.В. Применение методов многомерной интерполяции при планировании сложных вычислительных экспериментов с суперкомпьютерными двойниками // В сборнике: Математическое моделирование и суперкомпьютерные технологии. Труды XX Международной конференции. под ред. проф. В.П. Гергеля. Нижний Новгород, 2020. С. 116-119.

4. Болотский А.В. Многомерная интерполяция // Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы. Сборник научных статей Всероссийской межвузовской научно-практической конференции. Под редакцией Л.Р. Фионовой. 2018. С. 87-89.

5. Конопацкий Е.В. Геометрическое моделирование многофакторных процессов на основе точечного исчисления: дис. д-ра техн. наук: 05.01.01. Нижний Новгород, 2020. 307 с.

6. Конопацкий Е.В. Геометрическая теория многомерной интерполяции // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. Брянск: БГТУ, 2020. № 1(07). С. 9-16.

7. Конопацкий Е.В. Подход к построению геометрических моделей многофакторных процессов многомерной интерполяции // Программная инженерия. М.: 2019. Т.10. № 2. С. 77-86.

8. Балюба И.Г., Конопацкий Е.В. Точечное исчисление. Историческая справка и основополагающие определения // Тр. 8-й Междунар. науч. конф. «Физико-техническая информатика», 09-13 ноября 2020 г. Нижний-Новгород, 2020. Ч. 2. С. 321-327. DOI: 10.30987/conferencearticle\_5fd755c0adb1d9.2703826 5.

9. Балюба И.Г., Конопацкий Е.В., Бумага А.И. Точечное исчисление // Макеевка: ДОННАСА, 2020. 244 с.

10. Короев Ю.И. Начертательная геометрия // М.: КноРус., 2015. 422 с.

11. Конопацкий Е.В., Бумага А.И., Крысько А.А., Воронова О.С. Геометрическое моделирование и оптимизация физико-механических свойств дегтеполимербетона // Информационные технологии в проектировании и производстве. М.: НТЦ «Компас», 2019. № 1 (173). С. 20-24.

12. Воронова О.С. Конструирование составных поверхностей отклика применительно к моделированию зависимости физических параметров хладагента // Проблемы искусственного интеллекта. 2019. № 1(12). С. 52-63.

## REFERENCES

1. Pakhnutov I. A. Multidimensional interpolation / Interactive science. 2017. No. 5 (15). pp. 83-87.

2. Shitova M. V., Krivel S. M. Iterative methodology and computer program for approximation and interpolation of multidimensional data. 2020. No. 23. pp. 59-61.

3. Glazunova E. V., Deulin A. A., Kulikov M. S., Starostin N. V. Application of multidimensional interpolation methods in planning complex computational experiments with supercomputer doubles / In the collection: Mathematical modeling and supercomputer technologies. Proceedings of the XX International Conference. edited by Prof. V. P. Gergel. Nizhny Novgorod, 2020. pp. 116-119.

4. Bolotsky A.V. Multidimensional interpolation / Information technologies in science and education. Problems and prospects. Collection of scientific articles of the All-Russian Interuniversity Scientific and Practical Conference. Edited by L. R. Fionova. 2018. pp. 87-89.

5. Konopatskiy E. V. Geometric modeling of multifactor processes on the basis of point calculus: dis. of Doctor of technical sciences: 05.01.01. Nizhny Novgorod, 2020. 307 p.

6. Konopatskiy E. V. Geometric theory of multidimensional interpolation / Automation and modeling in design and management. Bryansk: BSTU, 2020. No. 1 (07). pp. 9-16.

7. Konopatskiy E. V. Approach to the construction of geometric models of multivariate processes of multidimensional interpolation / Software Engineering. Moscow: 2019. Vol. 10. No. 2. pp. 77-86.

8. Balyuba I. G., Konopatskiy E. V. Point calculus. Historical background and basic definitions / Tr. 8th Intern. nauch. Conf. "Physical and technical Informatics", 09-13 Nov 2020 Nizhny-Novgorod, 2020. Part 2. pp. 321-327. DOI: 10.30987/conferencearticle\_5fd755c0adb1d9.2703826 5.

9. Baluba I. G., Konopatskiy E. V., I. A. Bumaga Point calculation // Makiivka: DONNACEA, 2020. 244 p.

10. Koroev Yu. I. Descriptive geometry / Moscow: KnoRus., 2015. 422 p.

11. Konopatskiy E. V., Bumaga A. I., Krysko A. A., Voronova O. S. Geometric modeling and optimization of physical and mechanical properties of detaillierten / Information technologies in design and manufacturing. Moscow: NTTTS "Compass", 2019. No. 1(173). pp. 20-24.

12. Voronova O. S. Design of composite surfaces response in relation to the modelling of dependence of physical parameters of the refrigerant / Problems of artificial intelligence. 2019. No. 1(12). pp. 52-63.

VARIATIVE GEOMETRIC ALGORITHMS FOR MODELING MULTIFACTOR PROCESSES

Seleznev I.V.<sup>1</sup>, Konopatskiy E.V.<sup>2</sup>, Voronova O.S.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Donbas national academy of civil engineering and architecture  
DPR, Makeevka, st. Derzhavina 2

<sup>1</sup> i.v.seleznyov@yandex.ru; <sup>2</sup> e.v.konopatskiy@mail.ru; <sup>3</sup> kornilova.oly@mail.ru

**Abstract.** The work is investigated by the influence of variable geometric algorithms in modeling multifactor processes using multidimensional interpolation. Geometric models of multifactorial processes obtained using multidimensional interpolation inherent variability, which is a consequence of the multiplicity of the choice of reference lines during the development of geometric modeling schemes. At the same time, all possible variations of geometric interpolants are fully satisfying the initial data. It has been established that the number of variations of geometric schemes directly depends on the number of current parameters and the dimension of the space in which the simulated geometrical object is located. Thus, a variable approach to geometrical modeling of multifactor processes generates a number of scientific tasks, the main one is the need to determine the effect of the variability of geometric algorithms on the final results of the computational experiment and, as a result, the choice of the best modeling results. To this end, the article presents the studies of variable geometric algorithms and computational experiments on the example of 2-parametric geometric interpolants. A classification of 2-parametric geometric interpolants, which were conditionally divided into 3 types. Depending on the geometric scheme of constructing interpolants, the square geometric scheme, a rectangular geometric scheme, a mixed geometric scheme. As a result of computational experiments, it was found that for a square geometric scheme, the variability does not affect the final results, in rectangular geometric schemes, the variability has a slight influence, and mixed geometric schemes may have significant differences and require additional research to select the highest quality geometric process model. Comparison of geometric models were performed by the methods of scientific visualization by overlaying the response surfaces on each other.

**Key words:** geometric modeling, variable geometric algorithms, multifactor process, response surface, geometric interpolant, point calculus.



## Раздел 4. Экологическая безопасность

УДК: 556.18: 626/62 DOI: 10.37279/2413-1873-2021-21-147-160

### ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКИ КОМПЛЕКСА МЕР ПО РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМ ДЕФИЦИТА ВОДЫ В КРЫМУ

Николенко И.В., Копачевский А.М.

Академия строительства и архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»  
295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181  
e-mail: nikoshi@mail.ru

**Аннотация.** Представлены глобальные факторы возникновения проблем дефицита водных ресурсов, а также основные направления действий для их решения. Описана схема процесса образования и усиления водного дефицита при реализации экстенсивных методов водопользования. Рассмотрены проблемы возникновения дефицита водных ресурсов на Крымском полуострове. Выполнен анализ режимов водопотребления г. Симферополя. Показаны особенности и эффективность применения интенсивных методов водопользования в процессах снижения и устранения водного дефицита в различных странах. Представлены основные направления решения проблем водного дефицита Крыма с применением интенсивных методов водопользования

**Предмет исследования:** современные тенденции решения проблем дефицита воды, сравнение экстенсивных и интенсивных способов водопользования, анализ проблем возникновения дефицита водных ресурсов на Крымском полуострове, концептуальная модель внедрения интенсивных методов водопользования.

**Материалы и методы исследования:** Факторы возникновения проблем дефицита водных ресурсов и способы их решения на основе анализа международных директивных документов, а также Водная стратегия Российской Федерации. Оценка показателей многолетних изменений годовых притоков в водохранилища естественного стока, которые являются источниками водоснабжения г. Симферополя, а также годовых расходов на коммунально-бытовое водоснабжение города. Создание схем процессов снижения и устранения водного дефицита интенсивными методами, а также совмещения экстенсивных и интенсивных методов решения проблем дефицита водных ресурсов.

**Ключевые слова:** водные ресурсы, дефицит, водохранилище, экстенсивные и интенсивные методы, водосбережение, водоэффективность.

### ВВЕДЕНИЕ

Крымский полуостров в 2020 году столкнулся с серьезной проблемой нехватки пресной, в том числе и питьевой воды. Часть населенных пунктов были переведены на график подачи воды включая города Симферополь, Ялту, Алушту, а также более 20 малых населенных пунктов. В крупных вододефицитных городах также была прекращена централизованная подача горячей воды. Кроме перекрытия Северо-Крымского канала в 2014 году, к объективным факторам возникновения дефицита водных ресурсов на полуострове относят циклические изменения климатических условий по атмосферным осадкам, глобальные изменения климата, испарения с открытых поверхностей водных объектов, нерациональное использование водных ресурсов, в том числе применение водоемких технологий в сельскохозяйственном производстве, а также отсутствие комплексных мероприятий по водосбережению и водоэффективности. Кроме этого, большое влияние оказывает техническое состояние сооружений, оборудования, сетей систем водоснабжения и водоотведения, поддержание, которого долгие годы недостаточно финансировалось, а также длительный период реализации проектных решений, который обусловлен процедурами в

соответствии с действующей законодательной базой.

Существуют и субъективные факторы возникновения дефицита водных ресурсов в Крыму. Среди них – отсутствие системы управления общественными, экономико-хозяйственными и социальными взаимоотношениями на основе трехуровневого водного баланса для полуострова Крым, с учетом всех источников водных ресурсов и их потребителей, для позитивных, негативных и наиболее вероятных прогнозируемых условий. Огромные потери водных ресурсов в водообильные годы, путем сброса в море пресной воды поверхностного стока, сброс сточных вод без их повторного использования для сельскохозяйственных и технических целей, потери в системах водоснабжения, связанные с конструктивными, технологическими и эксплуатационными причинами, отсутствие разработок долгосрочных и сверхдолгосрочных стратегий внедрения многократного и(или) последовательного использования (рециклинга) воды для сельскохозяйственных, промышленных и рекреационных предприятий. Негативно влияет на ситуацию отсутствие финансирования научно-исследовательских, поисковых и опытно-конструкторских работ по решению региональных проблем дефицита водных ресурсов. Немаловажный фактор не только для сегодняшнего дня, но для будущего развития водохозяйственного

комплекса Крыма - отсутствие специалистов и их подготовки по решению на современном уровне проблем водodefицита - гидроинформатике и акватронике.

Дефицит водных ресурсов является глобальной мировой проблемой. В большинстве исследований по проблемам водопользования констатируется, что в настоящее время не менее 40% населения мира живет в районах, испытывающих среднюю или острую нехватку воды. [1, 2]. В поисках лучшего уровня жизни и экономической выгоды современное общество продолжает рассматривать воду только как ресурс, который свободно падает с неба, изобильный, неисчерпаемый и невосприимчивый к вредным антропогенным воздействиям [3]. Если нынешние тенденции водопользования сохранятся, то к 2025 году запасы воды на душу населения во всем мире сократятся более чем на треть. На Всемирных форумах по водным ресурсам было определено 10 важнейших мировых факторов возникновения дефицита водных ресурсов [4].

Если двадцатый век был веком плотин, скважин, дефицита водных ресурсов, их истощения, то двадцать первый век должен быть веком водной этики с пополнения запасов пресной воды, то есть временем, когда мир применяет свою изобретательность, чтобы жить в равновесии с природой [5]. С практической точки зрения такая водная этика является частью кодекса устойчивого развития, который предполагает совершенно новый подход к прогрессу в водохозяйственном комплексе, который гармонизирует экономические цели с экологическими критериями.

Несмотря на то, что вода является только частью глобальной системы природопользования, но в ней основное влияние имеют локальные системы управления, то есть то как водные ресурсы используются и управляются на местном и региональном уровнях [2, 3]. Поэтому в данной работе рассмотрены основные проблемы и направления разработки комплекса мер по решению проблем дефицита водных ресурсов в Крыму.

## **ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ И ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

На Всемирных форумах по водным ресурсам определены важнейшие глобальные факторы возникновения их дефицита. Основными являются нерациональное и неправильное использование пресной воды, что приводит к ненужному и к чрезмерному использованию в областях, где ее не требуется так много. Загрязнение пресной воды из-за плохой санитарии и отсутствия очистных сооружений. Чрезмерное использование грунтовых вод в сельскохозяйственных отраслях, для которых в мире уходит до 70% пресной воды, тоже приводит к дефициту воды. На возникновение дефицита воды во многих регионах влияет изменение климата – меняются естественные условия испарения воды и места выпадения

осадков. Указан и такой фактор, как коррупция, то есть злоупотребление полномочиями должностных лиц, от которых зависит принятие необходимых решений в водной отрасли вопреки законным интересам общества и государства. Отрицательно на ситуацию с водой влияет отсутствие учреждений, которые способны принимать своевременные технологические решения по вопросам очистки и рационального использования воды, а также отсутствие финансовых средств и специалистов для постройки инфраструктуры, необходимой для эффективного обращения с водными ресурсами. Способствуют дефициту воды и несоответствие ее цены эффективности водопользования, качеству и реальным затратам. В результате нерациональное и неправильное использование пресной воды приводит к ее ненужному и к чрезмерному использованию.

Второй Всемирный форум по водным ресурсам в 2002 г. сформулировал семь основных направлений действий для решения проблем по дефициту пресной воды. Это - удовлетворение базовых потребностей людей в безопасной питьевой воде и в благоприятных санитарно-гигиенических условиях; обеспечение продовольственной безопасности путем эффективного использования водных ресурсов; защита экосистем и обеспечение их целостности путем устойчивого управления водными ресурсами; совместное использование различными хозяйствующими субъектами; защита от опасностей, связанных с водой, путем управления рисками; управление водными ресурсами на основе определения ценности воды в экономическом, социальном, экологическом, культурном аспектах, а также установление допустимой цены на воду для незащищенных слоев населения и рациональное управление водными ресурсами при общественном контроле и соблюдении интересов всех слоев населения.

На Третьем Всемирном форуме по водным ресурсам (2003 г.) эти направления были дополнены еще четырьмя: развитие более экологически безопасных аграрных и промышленных технологий; учет ключевой роли воды в выработке энергии для обеспечения растущих потребностей в ней; значение воды для урбанизирующего мира и, что немаловажно, обеспечение для всех доступности информации о водных ресурсах и водопользовании.

На ежегодном Всемирном экономическом форуме в Давосе (Швейцария) в 2016 году для человечества было выделено 5 глобальных рисков в 21-ом веке [5, 6]:

- неспособность смягчить последствий изменения климата;
- неспособность приспособиться к изменению климата, экстремальным погодным явлениям;
- неспособность приспособиться к продовольственным кризисам;
- неспособность приспособиться к глубокой социальной нестабильности;

- водный кризис.

Главным глобальным риском для всего мирового сообщества в течение следующих десятилетий выделяется водный кризис.

Не менее важным является вывод ведущих ученых в области водных ресурсов, которые еще в 2008 году в журнале «*Science*» доказали, что в 21-ом веке изменилась «стационарность», как основополагающая концепция, согласно которой гидрологические системы изменяются и колеблются в пределах известного набора границ на основе многолетних наблюдений [7]. Поэтому события прошлого перестают быть надежным проводником в будущее для его прогнозирования. С другой стороны, следует предположить, что изменилась не «стационарность» гидрологических процессов, а выявилось увеличение изменчивости в связи с увеличением периода наблюдений и влияние дополнительных факторов, которые ранее не наблюдались или не учитывались.

Перспектива глобального потепления, вызванного накоплением в атмосфере углекислого газа и других поглощающих тепло газов, вводит в глобальную водную систему новые неуправляемые факторы. Подобно одностороннему фильтру, парниковые газы позволяют солнечной энергии проходить через атмосферу, но они задерживают длинноволновое излучение Земли. В результате, следует ожидать, что температура Земли будет повышаться, что, в свою очередь, изменит весь гидрологический цикл, то есть изменит известные фундаментальные константы переноса воды между водными объектами, воздухом и землей, которые положены в основу долгосрочных прогнозов. При нагревании воздуха происходит его расширение и удерживается больше влаги. Это, в свою очередь, увеличивает испарение и осадки, что, как правило, делает жаркие сухие районы более сухими, а прохладные влажные - более влажными. Более теплая атмосфера, которая удерживает больше влаги, может привести к более сильным дождям, при скачке температуры или давления. Это увеличивает вероятность появления экстремальных погодных явлений: катастрофических наводнений и засух. Согласно исследованию ООН, между 2005 и 2014 годами на Земле в среднем происходило 335 стихийных бедствий, связанных с погодой, что почти вдвое превышает уровень, зафиксированный в прошлом веке с 1985 по 1995 год [8].

Основным способом обеспечения растущих потребностей, связанных с увеличением численности населения, улучшением их условий жизни и питания, ростом промышленного производства и энергетики многие годы были экстенсивные способы решения дефицита водных ресурсов. То есть рост потребности в водных ресурсах обеспечивается увеличением объемов забора свежей воды из доступных водных объектов, без учета или без соответствующей оценки

воздействия на системно взаимосвязанные факторы, влияющие на водообильность природных источников воды [2]. Экстенсивный способ водопользования не только инициирует образование контура положительной обратной связи дефицита водных ресурсов, но и закрепляет его - вырваться из порочного круга становится все труднее, в том числе с учетом глобальных изменений природно-климатических факторов и повышения антропогенной нагрузки. В результате, системно экологические взаимосвязанные факторы подвергаются косвенному негативному влиянию и своим изменением уменьшают водообильность имеющихся источников воды [4].

Схема процесса образования и усиления водного дефицита показана на рис. 1. Из анализа приведенной схемы следует, что дефицит пресной воды может нарастать, если процесс экологической деградации, вызванной экстенсивными способами решения проблем этого дефицита не будет остановлен. Экстенсивные методы организации и планирования работы водного хозяйства по целому ряду признаков соответствует уровню развития, характерном для прошлого века, что в результате приводит к невысокой эффективности водопользования, низкому качеству обеспечения населения питьевой водой во многих водохозяйственных системах потребителей различных видов, а также к неудовлетворительному состоянию наиболее значимых эксплуатируемых природных водных объектов. Внедрение экстенсивных методов водопользования как правило проходит без учета вредных побочных эффектов как в настоящем, так и в будущем. Новые экстенсивные проектные решения для удовлетворения растущего спроса, где бы он ни возникал, могут создавать условия истощения водных ресурсов, ухудшения качества воды, увеличение нагрузки на водные объекты. Если истощаются запасы подземных и поверхностных вод для удовлетворения сегодняшних потребностей и желаний, то должны оцениваться риски и последствия для будущих поколений. Отсюда следует вывод: необходимым условием преодоления проблем водного дефицита является создание и внедрение новых методов и подходов решения.

Эффективным способом выхода из замкнутого круга экстенсивных методов является повышение эффективности водопользования и водосбережение, которые в современном глобальном мире должны стать основными вариантами решения проблем дефицита воды. Как пишет С. Постел в "*Последнем оазисе*", с помощью современных технологий и методов, которые применяются и доступны сегодня, сельское хозяйство может сократить свои потребности в воде на 10...50%, промышленность - на 40...90%, а города - до 30% без ущерба для экономики и качества жизни [3].



**Рис. 1.** Процесс формирования и усиления водного дефицита при реализации экстенсивных методов водопользования  
**Fig. 1.** The process of formation and strengthening of water deficit in the implementation of extensive methods of water use

В вопросах рационального использования водных ресурсов в РФ была разработана Водная стратегии Российской Федерации на период до 2020 года, а также Федеральная целевая программа «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах» [9, 10]. Несмотря на то, что Российская Федерация принадлежит к числу государств, наиболее обеспеченных водными ресурсами (10% мирового речного стока), в этих документах указаны основные проблемы, которые существенно влияют на эффективность водопользования. Обеспеченность водными ресурсами составляет 30,2 тыс. куб. м на человека в год в целом по стране, что значительно превышает установленный ООН критический минимум, необходимый для удовлетворения потребностей, - 1,7 тыс. куб. метров. Территория Российской Федерации характеризуется значительной неравномерностью распределения водных ресурсов их основных промышленных и сельскохозяйственных потребителей, а также неравномерностью плотности населения, что создает риски возникновения локальных водных дефицитов в некоторых регионах. Водоёмкость валового внутреннего продукта Российской Федерации составляет около 2,6 м<sup>3</sup>/тыс. рублей, что, значительно превышает аналогичные показатели большинства стран с развитой экономикой.

Главные положения российской Водной стратегии направлены на обеспечение комплексных

решений проблем, основными из которых являются: нерациональное использование водных ресурсов; наличие в отдельных регионах Российской Федерации дефицита водных ресурсов; несоответствие качества питьевой воды, потребляемой значительной частью населения, гигиеническим нормативам, а также ограниченный уровень доступа населения к централизованным системам водоснабжения. Основными факторами, оказывающими негативное влияние на уровень рациональности использования водных ресурсов, являются применение устаревших водоемких технологий, недостаточная степень оснащённости водозаборных сооружений системами приборного учета, а также высокий уровень потерь воды при транспортировке и распределении. Согласно анализа водопользования в Российской Федерации было показано, что более 72% сточных вод, подлежащих очистке, сбрасываются недостаточно очищенными, почти 17% - загрязненными без очистки, и только 11% - очищенными до установленных нормативов [9].

Дефицит водных ресурсов в отдельных регионах Российской Федерации проявляется в основном в маловодные периоды. Возникновение дефицита обусловлено следующими причинами: неравномерность распределения водных ресурсов по территории Российской Федерации; ограниченность регулирующих возможностей водохранилищ для удовлетворения ресурсной потребности всех видов потребителей;

недостаточная комплексность использования водных ресурсов на отдельных водохозяйственных участках [10].

Указанные проблемы явились основными при возникновении дефицита водных ресурсов в 2020 г. на Крымском полуострове. Наиболее сложная ситуация сложилась с водоснабжением г. Симферополя, которое с сентября 2020 года было переведено по графикам на режимную подачу. На рис. 2 представлены зависимости притоков в водохранилища естественного стока, которые являются источниками водоснабжения г. Симферополя за 1986-2020 год. Система хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Симферополя обеспечивается водой из трех водохранилищ естественного стока, суммарным

полным объемом 74,3 млн. м<sup>3</sup>, в том числе: Симферопольского, с проектным полным объемом – 36 млн. м<sup>3</sup>, Партизанского – 34,4 млн.м<sup>3</sup> и Аянского – 3,9 млн м<sup>3</sup>. Фактический суммарный объем водохранилищ, обеспечивающих водоснабжение г. Симферополя, и который можно использовать по их регламентам составляет **66,5 млн.м<sup>3</sup>**. Фактический объем водохранилищ отличается от полного на величину мертвого объема, который для каждого водохранилища коммунально-бытового водоснабжения устанавливаются по санитарно-технические требованиям и условиям обеспечения необходимого качества воды. Фактические объемы водохранилищ реально еще уменьшаются по причине испарения и фильтрации воды.

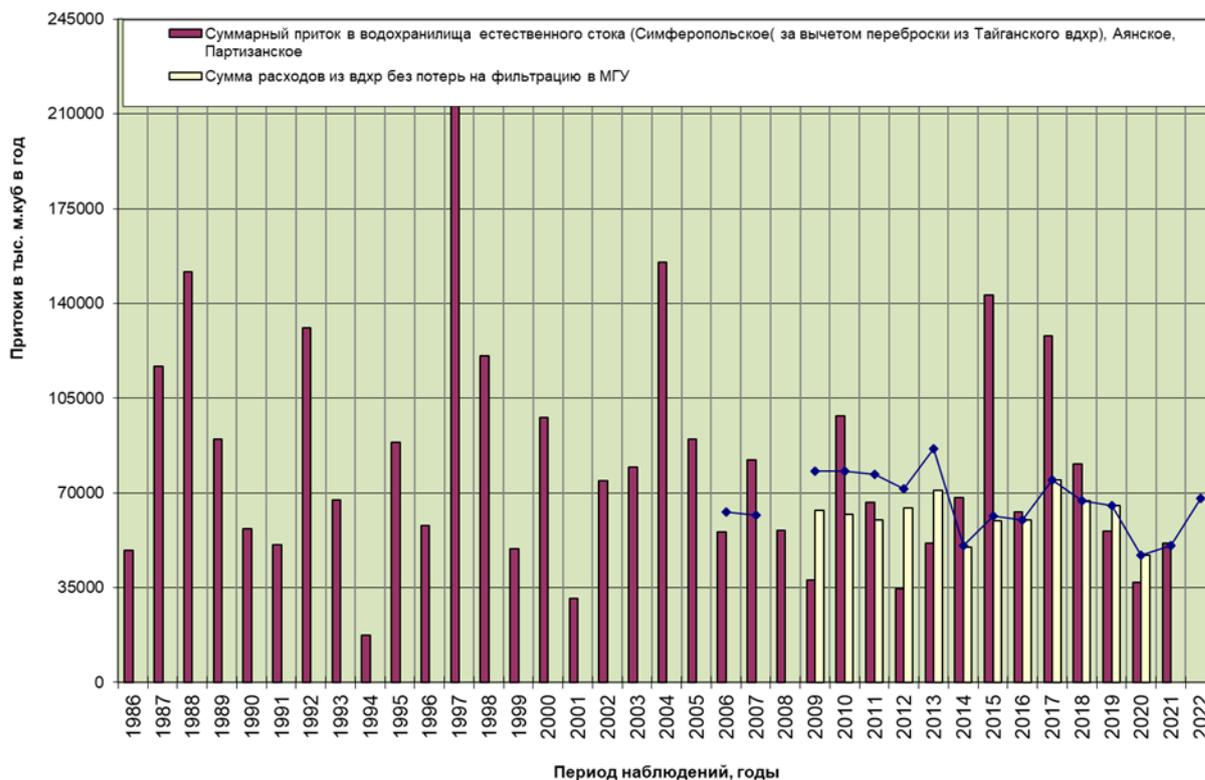


Рис. 2. Годовые притоки в водохранилища естественного стока, которые являются источниками водоснабжения г. Симферополя за период 1986 – 2020 г.

Fig. 2. Annual inflows into natural runoff reservoirs, which are sources of water supply for Simferopol for the period 1986 - 2020.

Источниками наполнения указанных водохранилищ является реки Салгир и Альма с притоками, а также река Аян. Бассейны этих рек расположены на части северных склонов Крымских гор. Весной данные реки, как правило, полноводны и дают существенный приток воды, а летом в жару они мелеют. За рассмотренный период значительно отличаются абсолютные экстремальные максимальные и минимальные значения суммарных годовых притоков в водохранилища естественного стока, которые являются источниками водоснабжения г. Симферополя. За рассмотренный период минимальные притоки были в 1994 году – 17,4 млн. м<sup>3</sup>, а максимальные в 1997 году – 215,2 млн. м<sup>3</sup>. Поэтому ежегодная степень заполнения водохранилищ существенно зависит от

количества суммарных осадков, времени года, а также температурных режимов. Если рассматривать годовой расход на коммунально-бытовое водоснабжение г. Симферополя (светлые диаграммы) то за 12 последних лет (2009-2020 годы) средний расход получен на уровне 62 млн. м<sup>3</sup>. Анализ годовых притоков (темные диаграммы) за рассмотренные 34 года показал, что за этот период годовые притоки в водохранилища 17 раз были больше значения среднего расхода, и соответственно 17 раз меньше. Небольшая разница между средним годовым расходом водохранилищ на коммунально-бытового водоснабжение г. Симферополя (62 млн. м<sup>3</sup>) и фактическим суммарным объемом водохранилищ, обеспечивающих водоснабжение города

(66,5 млн. м<sup>3</sup>) без учета испарения и фильтрации) обуславливают высокую зависимость от циклических изменений климатических условий по атмосферным осадкам и температурам и вызывают высокие риски дефицита воды.

Годовой расход воды из водохранилищ естественного стока г. Симферополя за 12 рассмотренных лет различается: максимальное значение в 2017 году составило 74,7 млн. м<sup>3</sup>, а минимальный в 2020 – 46,8 млн. м<sup>3</sup>. Можно отметить, что наиболее высокие риски дефицита воды в г. Симферополе возникают при двух и более маловодных годах подряд, когда суммарные притоки в водохранилища меньше среднего годового расхода водохранилищ на коммунально-бытового водоснабжение, как это было в 2008 – 2009 и 2012 – 2013 годах. При этом в течении пяти многоводных и средневодных лет по осадкам (2014 - 2018) накопленные запасы воды в водохранилищах и их притоки обеспечивали коммунально-бытового водоснабжение г. Симферополя в полном объеме.

Линией над диаграммами показаны значения годовых расходов на водоснабжение г. Симферополя с учетом суммы расходов из водохранилищ и дополнительной подачи воды из Межгорного гидроузла (МГУ), который наполнялся водами Северо-Крымского канала. В результате средняя дополнительная подача воды из МГУ за пять рассмотренных лет (2009-2013), в течении которых было три маловодных составила 13,8 млн. м<sup>3</sup>.

В настоящее время в целях обеспечения устойчивого водоснабжения Республики Крым и г. Севастополя реализуются мероприятия комплексного плана, утвержденного распоряжением Правительства РФ № 2668 от 16.10.2020 г. Выполнение мероприятий этого комплексного плана, обеспечивает важные оперативные решения по преодолению проблем водного дефицита Республики Крым и г. Севастополя. Реализация всех мероприятий комплексного плана обеспечит увеличение годовых объемов водоснабжения на 100 млн. м<sup>3</sup>, что составляет до 50% от максимального дефицита водных ресурсов в маловодные годы. Следует отметить, что мероприятия, обеспечивающие 85% увеличения годовых объемов водоснабжения основаны на экстенсивных методах водопользования, за счет строительства новых подземных и поверхностных водозаборов, применения опреснения морской воды, что в результате решает текущие проблемы устойчивого водоснабжения Республики Крым и г. Севастополя, но в будущем может способствовать процессам формирования и усиления водного дефицита.

## ИНТЕНСИВНЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЙ ПРОБЛЕМ ДЕФИЦИТА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Разработка ресурсосберегающих технологий - важнейшее современное направление научно-технического развития. Охрана и рациональное использование водных ресурсов - обязанность, которую необходимо исполнять не только ради будущих, но и нынешнего поколения. Сокращение объемов потребления водных ресурсов, являются основой интенсивных способов водопользования, которые обеспечиваются современными технологиями по водосбережению у основных групп потребителей, что позволяет более рационально использовать водные ресурсы. Как показывает практика многих стран с дефицитом воды, в большинстве случаев интенсивные методы оказываются экономически в несколько раз более выгодным, чем строительство новых инфраструктур по увеличению объемов потребления и обеспечивают дополнительные источники воды, как показано на рис. 3. Сокращение объемов потребления воды, за счет более эффективное использование различными потребителями, уменьшает водопотребление, что фактически создает новый источник водоснабжения. Уменьшение водопотребления приводит к снижению антропогенной нагрузки на водные объекты, что создает условия к сохранению водных ресурсов и к улучшению качества воды. В результате увеличиваются объемы доступных водных ресурсов, что снижает риски от возникновения условий водных дефицитов. Не менее актуальным интенсивным методом водопользования является обеспечение доступа к потреблению дополнительных неиспользуемых водных ресурсов за счет увеличения объемов сбора ливневых, сбросовых, и талых вод, очистки сточных вод.

К интенсивным методам водопользования для повышения его эффективности также является оценка распределения водных ресурсов между потребителями на основе анализа экономической, социальной и экологической эффективности их потребления для экономики регионов. Исходным моментом разработки интенсивных методов является анализ структуры распределения водопотребления по его основным потребителям. В мире основной объем потребления водных ресурсов приходится на сельское хозяйство, что составляет не менее 60% от общего объема используемых водных ресурсов, на промышленность приходится не менее 20%, а остальное жилищно-коммунальное хозяйство и другие сферы потребления. В зависимости от уровня развития, природно-климатических условий стран эти соотношения изменяются. Для слаборазвитых в основном аграрных стран на долю сельского хозяйства может приходиться до 80...90% потребления водных ресурсов, для стран Европы и Северной Америки доля промышленного потребления водных ресурсов

может достигать 60...80% . Поэтому разработка стратегий по внедрению интенсивных методов водопользования во многом должна определяться его структурой [8].



**Рис. 3.** Процесс снижения и устранения водного дефицита интенсивными методами  
**Fig. 3.** The process of reducing and eliminating water deficit by intensive methods

Водосбережение, которое возможно в сельском хозяйстве, представляет собой большой и в основном неиспользуемый новый источник водоснабжения. Сокращение во всем мире потребностей в ирригации только на 10% позволяет получить дополнительные объемы воды, чтобы удвоить водопотребление жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) [11]. Стимулирование более широкого внедрения водосберегающих методов и технологий с проведением правовых, социальных и экономических (институциональных) изменений, необходимых для более эффективного управления, приведет к сокращению дефицита и уменьшит экологический ущерб водным ресурсам, а также поможет сельскохозяйственным производителям получить больше пользы от имеющихся водных ресурсов.

Новые технологии позволяют решать многие проблемы водопользования сельского хозяйства в условиях дефицита водных ресурсов, в том числе снимают некоторые из возникающих в настоящее время ограничений. Селекция и отбор сортов сельскохозяйственных культур, более солеустойчивых, засухоустойчивых и водосберегающих, помогут увеличить производство сельскохозяйственных культур по мере сокращения запасов пресной воды для сельского хозяйства. Проведение научно-исследовательской работ позволяют установить, как лучше приспособить урожай к различным качествам воды. В сельском хозяйстве Израиля многие овощные, зерновые и технические культуры поливают водой более чем в

два раза более соленой, чем рекомендовано для питья [12].

Эффективность орошения во всем мире оценивается менее чем в 40%, поэтому большая часть воды, которая используется для аграрного сектора экономики, может даже не приносит пользы сельскохозяйственным культурам. Поэтому наибольший выигрыш в обозримом будущем принесет более эффективное орошение сельскохозяйственных культур, что может высвободить ресурсы для расширения орошаемых земель, избегая при этом высоких затрат и ущерба окружающей среде, связанных с новыми проектами освоения водных ресурсов. Кроме того, более эффективное управление водными ресурсами может увеличить производство на существующих орошаемых землях. В большинстве случаев существуют средства, позволяющие производителям сельхозпродукции экономично сократить потребление воды на 10...50%. Самые большие технологические успехи в повышении эффективности орошения произошли в тех странах, где нехватка воды представляет серьезную угрозу для всего сельского хозяйства. Особых успехов в развитии технологии орошения в последние десятилетия достигнуты в Израиле – наполовину пустынной стране, в которой разработаны технологии, методы и научные возможности в области ирригации, являющиеся неоценимыми для большей части мира в эпоху водных дефицитов. Опыт показывает, что при более эффективном управлении водными ресурсами урожайность часто увеличивается, эрозия уменьшается, а плодородные пахотные земли менее подвержены засолению или истощению питательных веществ. Поэтому инвестиции в эффективность орошения, как правило, являются инвестициями в продуктивность сельскохозяйственных культур и почв[5].

Почвы мира содержат примерно в восемь раз больше воды, чем все реки вместе взятые. Этот почвенный резервуар является основным источником воды для лесов, пастбищ и пахотных земель; количество воды, содержащееся в почве, существенно влияет на продовольственную безопасность в ближайшие десятилетия. Способность почвы удерживать воду является сложной функцией ее структуры и состава. Роль органического вещества, и в частности органического углерода, может значительно варьироваться в зависимости от типа почвы. В работе [13] показано что, начиная с низких уровней органического углерода, увеличение содержания углерода увеличивает задержку воды в грубых почвах, но уменьшает ее в мелкозернистых почвах. При более высоких уровнях органического углерода практически все почвы способны удерживать больше воды. Увеличение органического углерода на 1% позволяет верхним 30 сантиметрам почвы дополнительно удерживать не менее 1,6 см воды, то есть 160 кубометров воды на гектар. Улучшение состояния почвы имеет решающее значение для повышения устойчивости сельского хозяйства к

изменению климата. Например, сохранение всего 1 см воды за счет увеличения содержания углерода в почвах пашни Крыма, которая составляет 250 тысяч га, наполнит почвенный резервуар дополнительными 25 млн. кубометров, то есть объем, эквивалентный 10% от годовой потребности всего сельского хозяйства.

В сельском хозяйстве многих стран с дефицитом водных ресурсов активно используются интенсивные методы водопользования, которые основаны не только на современной ирригации, но и на внедрении принципов природоохранного сельского хозяйства, как набора методов, включающих минимальную или частичную обработку почвы, покровное земледелие, сохранение растительных остатков на земле, диверсификацию культур, смешанную посадку деревьев и культур, интеграцию животноводства с растениеводством и др. В результате интенсивные методы водопользования позволяют производителям сельхозпродукции экономично сократить потребление воды на 10...50%. Многие засушливые регионы мира в сельскохозяйственном производстве в настоящее время обрабатывают и повторно используют свои сточные воды для защиты от засухи и для увеличения либо пополнения запасов водных ресурсов [5].

На долю промышленного производства приходится почти 25% объемов мирового водопотребления. В большинстве промышленно развитых стран основным потребителем воды являются промышленные предприятия, на долю которых приходится 50...80% общего потребления, по сравнению с 10...30% в большинстве развивающихся стран, где промышленное использование значительно уступает сельскому хозяйству. С появлением новых промышленных стран, в которых за последние десятилетия произошёл качественный скачок социально-экономических показателей, их потребности в воде для энергетики, промышленности, добычи полезных ископаемых и обработки сельскохозяйственной продукции значительно увеличиваются, изменяя структуру водопользования [11]. Главным отличием промышленного водоснабжения, от сельскохозяйственного, является то, что фактически в технологических процессах потребляется небольшая часть промышленной воды. Большая ее часть используется для очистки, охлаждения, обработки и других видов технологических процессов, которые нагревают и (или) загрязняют воду. Меньшая часть воды в промышленном водоснабжении потребляется как сырье или материал технологического процесса. Это особенность создает возможность рециркуляции промышленной воды на предприятии заводе или в технологическом процессе, тем самым получая больше продукции с каждого кубометра, потребляемой воды [14].

В большинстве промышленно развитых стран мира в настоящее время действуют жесткие правила и

нормативы, чтобы промышленность обеспечивала определенные стандарты качества воды, прежде чем выпускать сточные промышленные воды в окружающую среду. В результате, наиболее эффективным и экономичным способом соблюдения этих норм и требований, а также предотвращения рисков загрязнения окружающей среды является многократная переработка и повторное использование воды в промышленном производстве. Сопоставление качества воды с ее целевым использованием открывает совершенно новый способ мышления и управления водой, который может превратить промышленные сточные воды из проблемы утилизации в ценный новый источник водоснабжения, а также экономический стимул для внедрения рециклинга.

В последние десятилетия прошлого века Япония, США и Германия и другие промышленно развитые страны добились поразительных успехов в эффективности промышленного водоснабжения. В ответ на все более строгие правила борьбы с загрязнением окружающей среды основные инвестиции в промышленное водосбережение, были направлены на разработку систем по рециркуляции охлаждающей и технологической воды. Они включали широкий диапазон инженерных конструкций и затрат, в которых создавались как наименее затратные, простейшие способы рециркуляции, так и самые сложные и дорогостоящие. Многие усовершенствования технологических процессов включали замену арматуры для снижения расходов, переход от непрерывного потока к прерывистому, последовательное повторное использование технологической воды в зависимости от ее параметров качества и контроль утечек [15]. В середине прошлого века производственные предприятия США расходовали каждый литр подаваемой им воды в среднем 1,8 раза, уровень рециркуляции в настоящее время достигнул 17 раз. Япония за два десятилетия прошлого века более чем утроила производительность промышленного водоснабжения. Стоимость японской продукции с каждого кубометра воды, поставляемой в промышленность составила 77 долларов США. В Германии рост промышленного производства происходит при сохранении объемов промышленного водопотребления. В Швеции строгие требования по контролю за загрязнением привели к широкому внедрению рециркуляции в целлюлозно-бумажной промышленности, крупнейшем водопользователе страны. За двадцать лет прошлого века в период между началом шестидесятых и концом семидесятых годов эта промышленность сократила потребление воды вдвое, одновременно удвоив производство, то есть в четыре раза увеличив производительность воды [16].

Эти успехи были достигнуты за счет стимулирования промышленных водопотребителей к внедрению водосберегающих технологий. В большинстве промышленных предприятий решения

о рециклинге принимались на основе анализа объемов и структуры водопотребления с оценкой затрат на получение воды и ее очистку перед сбросом с затратами на добавление оборудования для очистки и повторного использования сточных вод внутри предприятия. Во многих отраслях промышленности рециклинг компенсирует затраты не только за счет снижения объемов потребления «свежей» воды, но и за счет извлечения ценных материалов, таких как никель, медь и хром из гальванических операций или волокно при производстве бумаги. По мере роста затрат на водоснабжение и очистку сточных вод оборотное промышленное водоснабжение становится все более рентабельным. А в регионах с дефицитом водных ресурсов промышленные предприятия все чаще прибегают к рециклингу, чтобы защитить производственные процессы от возможного изменения режимов и сокращения объемов поставок воды [3]. Сингапур, страна-город, который стал мировым лидером по вопросам водосбережения и эффективности потребления водных ресурсов, ввел налог на водосбережение для отраслей, использующих более определенных объемов воды. Новые заводы, которые потребляют более 500 м<sup>3</sup> воды в месяц, должны получить одобрение города до того, как они начнут работать. Специалисты работают с ними на этапах проектирования, чтобы помочь им включить в свою деятельность сохранение, переработку и, где это возможно, использование воды более низкого качества [15].

Таким образом, основой интенсивных методов промышленного водопользования в современном мире является обеспечение того, чтобы новые промышленные предприятия с самого начала в технологические процессы включали рециркуляцию. Существенное снижение объемов промышленного водоснабжения позволяет уменьшить дорогостоящие инвестиции в водоснабжение ЖКХ, уменьшить забор воды из подземных и поверхностных источников, снизить конкуренцию за воду различных потребителей, а также позволит предотвратить загрязнение окружающей среды от достижения уровней, опасных для людей и дикой природы. Замкнутые циклы промышленного водоснабжения и водоотведения не только технически возможно, но и имеет все больший экономический, социальный и экологический смысл.

Несмотря на то, что города по всему миру занимают всего 2% поверхности Земли, но в них проживает более половины населения планеты и создается большая часть ее экономической активности. Потребление воды в городских коммунальных хозяйствах составляет до 20% объемов мирового водопотребления. Для удовлетворения высококонцентрированных потребностей, города систематически и планомерно уходили все дальше от своих границ для обнаружения и использовать новые источники воды. Урбанизация стала одной из основных причин

роста дефицита водных ресурсов в мире. Опыт интенсивного развития водного хозяйства показывает, что управление объемами потребления, а не постоянное стремление удовлетворить их является более надежным путем к водной безопасности с обеспечением экономии финансовых ресурсов и защиты окружающей среды. Так как меры по повышению эффективности использования воды приносит постоянную экономию воды и тем самым позволяет отсрочить или избежать необходимости строительства дорогостоящих новых гидротехнических, водозаборных и очистных сооружений. Поэтому водосбережение является одним из наиболее экономически эффективных и экологически обоснованных способов сбалансирования городского водного бюджета [5]. Для многих городов и их районов невозможно сбалансировать потребление и доступные водные ресурсы без сохранения и более эффективного использования воды.

Учитывая существенное влияние на социально-экономические условия жизни населения в каждом случае успешные усилия по ограничению водопользования коммунального хозяйства включают определенную комбинацию экономических стимулов, правил и информационно-пропагандистской работы с общественностью, которые в совокупности способствуют использованию водосберегающих технологий и моделей поведения. Эти меры синергетически объединяют и усиливают друг друга, и вместе они представляют собой надежный и предсказуемый вариант водоснабжения. Следует отметить, что по мере роста дефицита водных ресурсов, водосберегающие технологии становятся наименее дорогостоящим и наиболее экологически безопасным способом удовлетворения потребностей коммунального хозяйства городов в воде по сравнению с традиционными инженерными подходами, ориентированными на увеличение объемов из доступных источников.

Одним из традиционных шагов по водосбережению, который могут предпринять коммунальные хозяйства любого города является повышение цены на воду, чтобы лучше отразить ее истинную стоимость. Правильное ценообразование дает потребителям сигнал о том, насколько дорога вода, и позволяет им реагировать соответствующим образом. Повышение тарифов на водоснабжение, как правило, не бывает популярным, так как на удельную стоимость воды в коммунальном хозяйстве влияют объемы ее поставки. Поэтому даже при существенном уменьшении объемов потребления воды, жители могут увидеть увеличение своих счетов за воду за счет необоснованного увеличения тарифов. Анализ влияния ценообразования, проведенный в ряде стран, включая Австралию, Канаду, Израиль и США, показал, что потребление воды в домашних хозяйствах падает в 2,5...3 раза в меньшей степени, чем рост цены на воду. Поэтому только

экономические стимулы не могут и не будут мотивировать всех потребителей к сохранению воды [3, 5, 11, 15].

Эффективное коммунальное водосбережение можно обеспечить комплексом мер по интенсивному водопользованию, который включает экономически обоснованное ценообразование, законодательное и нормативное регулирование, комплексную модернизацию, аудит потребителей воды, обнаружение и устранение утечек, образовательные программы и информирование общественности.

Национальные и региональные стандарты по водосбережению устанавливают технологические нормы, обеспечивающие определенный уровень эффективности встроенных в новые строительные объекты, сооружения, оборудование и услуги. Национальные стандарты эффективности использования воды, которые были установлены в рамках Закона об энергетической политике США 1992 года, требовали от производителей сантехники сократить объем воды, используемой туалетами, писсуарами, кранами и душевыми насадками, а все новые и реконструированные дома, а также большинство коммерческих зданий и сооружений были обязаны устанавливать эти эффективные приспособления во всех ремонтных работах и новом строительстве, эффективно обеспечивая сохранение городской и жилой инфраструктуры [17]. Эти стандарты обеспечили постепенное снижение за двадцать лет среднего потребления воды в жилых помещениях США на 30% [5, 18]. Дальнейшим развитием политики водосбережения в США стали внедрение новых стандартов по эффективности воды для стиральных машин и посудомоечных машин, а также запуск в 2006 году Программы маркировки эффективности воды на бытовые техники под названием WaterSense. Помимо сокращения внутреннего и наружного водопользования потребителями, комплексные усилия были также направлены на ограничения потерь воды в системах ее распределения. Дополнительная комплексная модернизация городских распределительных сетей, обнаружение и устранение утечек обеспечивают коммунальное хозяйство не только экономии воды, но и быструю окупаемость инвестиций. В некоторых случаях обнаружение и устранение утечек может быть одной из самых экономически эффективных мер во всей стратегии водосбережения. В результате, в ближайшее десятилетие до 2030 года, ожидается, что потребление воды в помещении на одного человека в США сократится, по крайней мере на 37% [19].

Применение интенсивных методов водопользования стали одним из эффективных способов развития водного хозяйства многих стран: Австралия, Мексика, Китай, Канада, Дания, которые включили национальные стандарты в свою стратегию сохранения водных ресурсов [5]. Для эффективного водосбережения существуют также проверенные методы сокращения орошения газонов

и ландшафтов, устранения утечек в системах распределения коммунальных услуг, а также превращения местных сточных и ливневых вод в новые источники снабжения. Сокращение ландшафтного орошения особенно важно, потому такое использование воды является «невозвратным», так как она при поливе испаряется или через растения возвращается в атмосферу, а поэтому становится недоступной для повторного использования или возвращения в водные объекты.

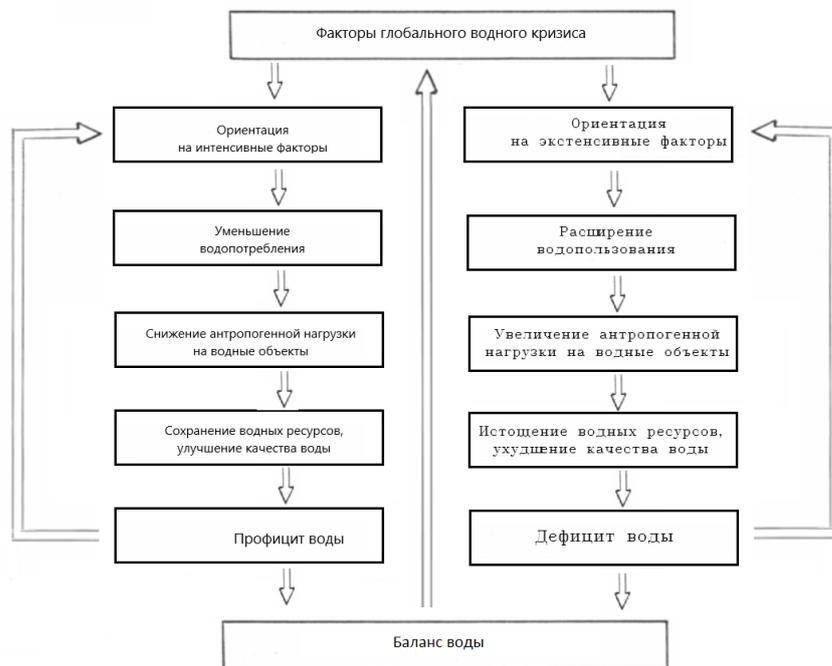
В Китае проживает 19% мирового населения, но на территории имеется только 7% мировых запасов возобновляемой пресной воды, что периодически создает огромный дефицитом воды, который периодически чередуется катастрофическими наводнениями. Поэтому для снижения рисков наводнений и превращения сточных ливневых вод в новые источники снабжения, Китай принял креативный термин «*губчатые города*» для более разумного управления городскими водными ресурсами. По этому грандиозному проекту города должны действовать как губки, поглощая всю дождевую воду, не позволяя ей стекать по улицам и тротуарам, с последующей очисткой и пополнением местных источников воды [20]. Сингапур, город-государство в Юго-Восточной Азии, имеет зависимость от импорта пресной воды, поэтому придерживается стратегии использования самых дешевых вариантов обеспечения водными ресурсами. К таким в первую очередь относится сбор ливневых вод, которые составляют важную часть водоснабжения. Через сеть стоков и каналов агентство по водоснабжению направляет две трети городского стока в 17 водохранилищ, где он затем очищается и добавляется в питьевое снабжение. Снижение утечек и потерь в городских системах распределения до 5% от спроса, является одним из самых низких показателей в мире [21]. Кроме сбора ливневых вод и устранения утечек Сингапур продвинулся вперед в области рециркуляции и прямого повторного использования своих сточных вод, которые могут удовлетворить до 30% текущего спроса страны [22].

Достиж водного баланса при дефиците водных ресурсов региона применением только интенсивных методов достаточно непросто. Несмотря на множество фактических данных, свидетельствующих о том, что сбережение и эффективность водопользования являются одними из наиболее экономичных и экологически обоснованных альтернатив, они часто воспринимаются как незначительные дополнения к пакету водоснабжения. Переход к более эффективным, экологически обоснованным, устойчивым моделям водопользования требует серьезных изменений в том, как вода оценивается, распределяется и управляется. Лимит временных и финансовых ресурсов, неспособность адекватно учесть потенциал сохранения, повторного использования и разумного управления для экономически эффективного сокращения объемов потребления часто приводит к тому, что

предлагаются, а в некоторых случаях реализуются ненужные и дорогостоящие новые проекты водоснабжения.

Экономика, законодательная база, практика и политика, формирующие сегодня водопользование, редко способствуют сбалансированной реализации всех трех основных принципов устойчивого

использования ресурсов - эффективности, социальной справедливости и экологической целостности. Обеспечение водного баланса можно достичь оптимальным совмещением экстенсивных и интенсивных способов решения проблем дефицита водных ресурсов, как показано на рис. 4.



**Рис. 4.** Интегральная схема совмещения экстенсивных и интенсивных методов решения проблем дефицита водных ресурсов

**Fig. 4.** Integrated circuit for combining extensive and intensive solution methods water scarcity problems

Современный мировой опыт в области моделирования и оптимизации систем водопользования основан внедрении новых наук - гидроинформатика и акватроника, которые успешно развиваются и имеют самостоятельный характер. Их основой являются математические методы оптимизации, математическое моделирование, геоинформационные системы, методы обработки данных, теория графов и др., для применения в задачах обоснования перспективных схем развития систем водоснабжения и водоотведения, а также стимулирования потребителей к внедрению водосберегающих технологий. По мере того как вода становится все более дефицитной, устойчивое развитие зависит от повышения ее продуктивности, то есть получения большей ценности от объемов водопользования, при сохранении достаточного количества воды в поверхностных и подземных источниках водоснабжения для поддержания нормального функционирования природных систем.

Проведенный анализ убедительно показывает, что 21-й век в связи с реальной проблемой глобального водного кризиса стал переходом к интенсивным способам и новым технологиям решения проблем водного дефицита. Примеры Израиля и Сингапура, которые столкнулись с неблагоприятными климатическими условиями по осадкам, экзистенциальными рисками отсутствия

подачи воды из водотоков соседних стран, показали насколько эффективно применяются интенсивные способы решения проблем дефицита водных ресурсов.

Таким образом, разработка научно-обоснованной концептуальной модели внедрения интенсивных методов водопользования с применением доступных новых технологий водопользования, систем его автоматизации и управления должны быть основой комплексных стратегических планов развития Крымского полуострова и важным дополнением к применяемым экстенсивным способам. Для рассмотренного выше примера (рис. 2) с анализом годовых притоков в водохранилища естественного стока, которые являются источниками водоснабжения г. Симферополя, следует, что мероприятия по водосбережению за счет применения современных доступных технологий и методов, направленных на сокращение потребности в воде города на 22% позволяет исключить режимы дефицита без ущерба для экономики и качества жизни. При сокращении потребности на 22% анализ годовых притоков (рис.2 темные диаграммы) за рассмотренные 34 года, показал, что за этот период годовые притоки в водохранилища 25 раз были бы больше значения среднего расхода, и соответственно 9 раз меньше, что существенно снижает риски водного дефицита.

Внедрение современных компьютерных систем контроля и автоматизации технологических процессов в структурных элементах систем водоснабжения позволяют снизить утечки и потери воды в городских системах распределения до 10% от ее спроса. Разработка и внедрение технологических схем очистки воды поверхностных источников, подвергшихся антропогенному воздействию, а также сбросовых ливневых и талых вод позволяет существенно увеличить объемы доступных водных ресурсов. Обоснования режимов рационального использования водных ресурсов регионов на основе долгосрочного прогнозирования характеристик атмосферных осадков с определением оптимальных характеристик систем сбора и очистки поверхностных стоков, с увеличением площадей зеленых насаждений в водосборных бассейнах рек Крыма позволило гарантированно решать проблемы дефицита. Регенерация и повторное использование сточных вод, с отказом от традиционных схем выпуска очищенных сточных вод в морское побережье и открытые водоемы позволяет ежегодно увеличивать водный баланс Крыма на 200 млн. м<sup>3</sup> воды, которая может использоваться как техническая для ЖКХ, в сельском хозяйстве и промышленности, а также для пополнения поверхностных и подземных водных ресурсов.

## ВЫВОДЫ

С учетом вышеизложенного, предлагается в основных направлениях разработки комплекса мер по решению проблем дефицита воды в Крыму использовать интенсивные способы на основе следующего комплекса задач:

1. Разработка комплекса мероприятий решения стратегических задач по внедрению водосбережения и водоеффективности на основе разработки системы долгосрочных целевых показателей для основных потребителей водных ресурсов: сельского хозяйства, ЖКХ, промышленности, энергетики, а также санаторно-рекреационного направления.

2. Создание перспективной научно-обоснованной балансовой схемы водного хозяйства Крыма при максимально возможном использовании местных водных ресурсов, в том числе повторного использования очищенных сточных вод.

3. Разработка и внедрение технологических схем очистки воды поверхностных источников, подвергшихся антропогенному воздействию, а также сбросовых ливневых и талых вод.

4. Регенерация и повторное использование сточных вод, с превращением их в ценный водный ресурс с обоснованием эффективных технологических схем глубокой очистки, доочистки и обеззараживания городских сточных вод с целью их повторного использования в сельском хозяйстве и промышленности, с отказом от традиционных схем с выпуском очищенных

сточных вод в морское побережье и открытые водоемы Крыма.

5. Создание моделей прогнозирования запасов водных ресурсов Крыма на основе на основе долгосрочного прогнозирования характеристик атмосферных осадков с применением нейронных моделей водопользования, с территориальным и сезонным перераспределением водных ресурсов для снижения вероятности рисков дефицита.

6. Разработка систем адаптивного управления и регулирования местного и регионального водопользования с целью снижения потерь, повышения надежности и эффективности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов-Данильян В.И. Потребление воды: экологические, экономические, социальные и политические аспекты / В.И. Данилов-Данильян, К.С. Лосев; Ин-т водных проблем РАН. - М.: Наука, 2006. - 221 с.

2. В.И. Данилов-Данильян. Водные ресурсы мира и перспективы водохозяйственного комплекса России. - М.: ООО «Типография Левко», Институт устойчивого развития/Центр экологической политики России, 2009. - 88 с.

3. S. Postel. The last oasis. Facing water scarcity. - London: Earthscan Publications Ltd., Worldwatch Institute, 1992. - 226 p.

4. Данилов-Данильян В.И., Хранович И.Л. Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования. - М.: Научный мир, 2010. - 232 с.

5. S. Postel. Replenish. The Virtuous Cycle of Water and Prosperity. - NY, Island Press, 2017 - 339 p.

6. Global Risks Report 2016 //World Economic Forum, 2016. - 103 p.

7. Milly C. and etc. Stationarity Is Dead: Whither Water Management? / C. D. Milly, J. Betancourt, M. Falkenmark, R. M. Hirsch, Z. W. Kundzewicz, D. P. Lettenmaier. // Science 01 Feb 2008: Vol. 319, Issue 5863, pp. 573-574 DOI: 10.1126/science.1151915

8. The Human Cost of Weather Related Disasters 1995-2015 // United Nations, Office for Disaster Risk Reduction and the Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2015. - 30 p.

9. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года. Распоряжение Правительства РФ от 27 августа 2009 г. N 1235-р. Электронный ресурс: режим доступа <http://government.ru/docs/10049/> (дата обращения 07.03.2021 г.)

10. Постановление Правительства РФ от 19.04.2012 N 350 (ред. от 31.05.2017) "О федеральной целевой программе "Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах". Электронный ресурс: режим доступа: <http://government.ru/docs/37156/> (дата обращения 07.03.2021 г.)

11. Shiklomanov I.A. Global Water Resource// Nature & Resources, Vol. 26, No. 3., 1990.
12. Saline Agriculture: Salt-Tolerant Plants for Developing Countries. - U.S. National Research Council, Washington, D.C.: National Academy Press, 1990. – 320 p.
13. Edwards J.H., C.W. Wood, D.L. Thurlow, and M.E. Ruf. 1999. Tillage and crop rotation effects on fertility status of a Hapludalf soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:1577-1582. Электронный ресурс: режим доступа: [http://soilquality.org/indicators/total\\_organic\\_carbon.html](http://soilquality.org/indicators/total_organic_carbon.html). (дата обращения 15.03.2021 г.)
14. Wayne Solley et al., Preliminary Water Use Estimates in the United States During 1990. - U.S. Geological Survey, OpenFile Report 92-63, Washington, D.C., July 1992.
15. William W. Wade et al., Cost of Industrial Water Shortages. - Spectrum Economics Inc., San Francisco, Calif.: 1991.
16. Opie R., Germany's Double Bill. - World Water and Environmental Engineer, April 1991;
17. Vickers A., Bracciano D. Low-Volume Plumbing Fixtures Achieve Water Savings.// American Water Works Association (Opflow), July 2014. <https://doi.org/10.5991/OPF.2014.40.0047>.
18. Vickers A. Water-Use Efficiency Standards for Plumbing Fixtures: Benefits of National Legislation // Journal of the AWWA 82, no.5(1990): 51 – 54.
19. DeOreo, William B., Mayer P., Dziegielewski B, et al. Residential End Uses of Water, Version 2. Denver, CO: Water Research Foundation, 2016.
20. Shepard W (2016). Can 'Sponge Cities' Solve China's Urban Flooding Problem? Hg. v. Cityscope. Электронный ресурс: режим доступа: <http://citiscopes.org/story/2016/can-sponge-cities-solve-chinas-urban-flooding-problem>., (дата обращения 28.07.2016г.)
21. PUB, Singapore's National Water Agency, website at [www.pub.gov.sg](http://www.pub.gov.sg). viewed November 21-22, 2016.
22. Tang A., From Open Sewage to High-Tech Hydrohub, Singapore Leads Water Revolution// Reuters, August 2, 2015. <http://www.reuters.com/article/us-singapore-water>.
4. Danilov-Danil'yan V.I., Hranovich I.L. Upravlenie vodnymi resursami. Soglasovanie strategij vodopol'zovaniya. - M.: Nauchnyj mir, 2010. - 232 s.
5. S. Postel. Replenish. The Virtuous Cycle of Water and Prosperity. – NY, Island Press, 2017 – 339 p.
6. Global Risks Report 2016 //World Economic Forum, 2016. – 103 p.
7. Milly C. and etc. Stationarity Is Dead: Whither Water Management?/ C. D. Milly, J. Betancourt, M. Falkenmark, R. M. Hirsch, Z. W. Kundzewicz, D. P. Lettenmaier.// Science 01 Feb 2008: Vol. 319, Issue 5863, pp. 573-574 DOI: 10.1126/science.1151915
8. The Human Cost of Weather Related Disasters 1995–2015// United Nations, Office for Disaster Risk Reduction and the Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2015. – 30 p.
9. Vodnaya strategiya Rossijskoj Federacii na period do 2020 goda. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 27 avgusta 2009 g. N 1235-r. Elektronnyj resurs: rezhim dostupa <http://government.ru/docs/10049/> (дата обращения 07.03.2021 г.)
10. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 19.04.2012 N 350 (red. ot 31.05.2017) "O federal'noj celevoj programme "Razvitie vodohozyajstvennogo kompleksa Rossijskoj Federacii v 2012 - 2020 godah". Elektronnyj resurs: rezhim dostupa <http://government.ru/docs/37156/> ( data obrashcheniya 07.03.2021 г.)
11. Shiklomanov I.A. Global Water Resource// Nature & Resources, Vol. 26, No. 3., 1990.
12. Saline Agriculture: Salt-Tolerant Plants for Developing Countries. - U.S. National Research Council, Washington, D.C.: National Academy Press, 1990. – 320 p.
13. Edwards J.H., C.W. Wood, D.L. Thurlow, and M.E. Ruf. 1999. Tillage and crop rotation effects on fertility status of a Hapludalf soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:1577-1582. Elektronnyj resurs: rezhim dostupa: [http://soilquality.org/indicators/total\\_organic\\_carbon.html](http://soilquality.org/indicators/total_organic_carbon.html). ( data obrashcheniya 15.03.2021 г.)
14. Wayne Solley et al., Preliminary Water Use Estimates in the United States During 1990. - U.S. Geological Survey, OpenFile Report 92-63, Washington, D.C., July 1992.
15. William W. Wade et al., Cost of Industrial Water Shortages. - Spectrum Economics Inc., San Francisco, Calif.: 1991.
16. Opie R., Germany's Double Bill. - World Water and Environmental Engineer, April 1991;
17. Vickers A., Bracciano D. Low-Volume Plumbing Fixtures Achieve Water Savings.// American Water Works Association (Opflow), July 2014. <https://doi.org/10.5991/OPF.2014.40.0047>.
18. Vickers A. Water-Use Efficiency Standards for Plumbing Fixtures: Benefits of National Legislation// Journal of the AWWA 82, no.5(1990): 51 – 54.
19. DeOreo, William B., Mayer P., Dziegielewski B, et al. Residential End Uses of Water, Version 2. Denver, CO: Water Research Foundation, 2016.
20. Shepard W (2016). Can 'Sponge Cities' Solve China's Urban Flooding Problem? Hg. v. Cityscope. Электронный ресурс: режим доступа:

## REFERENCES

1. Danilov-Danilyan V. I. Potreblenie vody: environmental, economic, social and political aspects / V. I. Danilov-Danilyan, K. S. Losev; Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow: Nauka, 2006. - 221 p.
2. Danilov-Danilyan V. I. Vodnie resursy mira i perspektivy vodohozyajstvennogo kompleksa Rossii. – M.: OOO «Tipografiya Levko», Institut ustojchivogo razvitiya/Centr ekologicheskoy politiki Rossii, 2009. — 88 s.
3. S. Postel. The last oasis. Facing water scarcity. – London: Earthscan Publications Ltd., Worldwatch Institute, 1992. – 226 p.
4. Danilov-Danil'yan V.I., Hranovich I.L. Upravlenie vodnymi resursami. Soglasovanie strategij vodopol'zovaniya. - M.: Nauchnyj mir, 2010. - 232 s.
5. S. Postel. Replenish. The Virtuous Cycle of Water and Prosperity. – NY, Island Press, 2017 – 339 p.
6. Global Risks Report 2016 //World Economic Forum, 2016. – 103 p.
7. Milly C. and etc. Stationarity Is Dead: Whither Water Management?/ C. D. Milly, J. Betancourt, M. Falkenmark, R. M. Hirsch, Z. W. Kundzewicz, D. P. Lettenmaier.// Science 01 Feb 2008: Vol. 319, Issue 5863, pp. 573-574 DOI: 10.1126/science.1151915
8. The Human Cost of Weather Related Disasters 1995–2015// United Nations, Office for Disaster Risk Reduction and the Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2015. – 30 p.
9. Vodnaya strategiya Rossijskoj Federacii na period do 2020 goda. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 27 avgusta 2009 g. N 1235-r. Elektronnyj resurs: rezhim dostupa <http://government.ru/docs/10049/> (дата обращения 07.03.2021 г.)
10. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 19.04.2012 N 350 (red. ot 31.05.2017) "O federal'noj celevoj programme "Razvitie vodohozyajstvennogo kompleksa Rossijskoj Federacii v 2012 - 2020 godah". Elektronnyj resurs: rezhim dostupa <http://government.ru/docs/37156/> ( data obrashcheniya 07.03.2021 г.)
11. Shiklomanov I.A. Global Water Resource// Nature & Resources, Vol. 26, No. 3., 1990.
12. Saline Agriculture: Salt-Tolerant Plants for Developing Countries. - U.S. National Research Council, Washington, D.C.: National Academy Press, 1990. – 320 p.
13. Edwards J.H., C.W. Wood, D.L. Thurlow, and M.E. Ruf. 1999. Tillage and crop rotation effects on fertility status of a Hapludalf soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:1577-1582. Elektronnyj resurs: rezhim dostupa: [http://soilquality.org/indicators/total\\_organic\\_carbon.html](http://soilquality.org/indicators/total_organic_carbon.html). ( data obrashcheniya 15.03.2021 г.)
14. Wayne Solley et al., Preliminary Water Use Estimates in the United States During 1990. - U.S. Geological Survey, OpenFile Report 92-63, Washington, D.C., July 1992.
15. William W. Wade et al., Cost of Industrial Water Shortages. - Spectrum Economics Inc., San Francisco, Calif.: 1991.
16. Opie R., Germany's Double Bill. - World Water and Environmental Engineer, April 1991;
17. Vickers A., Bracciano D. Low-Volume Plumbing Fixtures Achieve Water Savings.// American Water Works Association (Opflow), July 2014. <https://doi.org/10.5991/OPF.2014.40.0047>.
18. Vickers A. Water-Use Efficiency Standards for Plumbing Fixtures: Benefits of National Legislation// Journal of the AWWA 82, no.5(1990): 51 – 54.
19. DeOreo, William B., Mayer P., Dziegielewski B, et al. Residential End Uses of Water, Version 2. Denver, CO: Water Research Foundation, 2016.
20. Shepard W (2016). Can 'Sponge Cities' Solve China's Urban Flooding Problem? Hg. v. Cityscope. Электронный ресурс: режим доступа:

<http://citiscope.org/story/2016/can-sponge-cities-solve-chinas-urban-flooding-problem.>, (data obrashcheniya 28.07.2016г.)

21. PUB, Singapore's National Water Agency, website at [www.pub.gov.sg](http://www.pub.gov.sg). viewed November 21-22, 2016.

22. Tang A., From Open Sewage to High-Tech Hydrohub, Singapore Leads Water Revolution// Reuters, August 2, 2015. <http://www.reuters.com/article/us-singapore-water>.

## THE MAIN DIRECTIONS OF THE DEVELOPMENT OF A SET OF MEASURES TO DECISION THE PROBLEMS OF WATER SCARCITY IN THE CRIMEA

Nikolenko I.V., Kopachevsky A.M.

Academy of Construction and Architecture of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University

**Abstract.** The article presents the global factors of water scarcity problems, as well as the main directions of actions to solve them. The scheme of the process of formation and strengthening of water scarcity in the implementation of extensive methods of water use is described. The problems of water scarcity on the Crimean Peninsula are considered. The analysis of water consumption regimes in Simferopol is carried out. The features and effectiveness of the use of intensive methods of water use in the processes of reducing and eliminating water scarcity in different countries are shown. The main directions of solving the problems of water scarcity in the Crimea with the use of intensive methods of water use are presented.

**The subject of the study:** current trends in solving water scarcity problems, comparison of extensive and intensive methods of water use, analysis of the problems of water scarcity on the Crimean Peninsula, a conceptual model for the introduction of intensive methods of water use.

**Materials and methods of research:** Factors of water scarcity problems and ways to solve them based on the analysis of international policy documents, as well as the Water Strategy of the Russian Federation. Assessment of indicators of long-term changes in annual inflows to reservoirs of natural runoff, which are sources of water supply in Simferopol, as well as annual expenditures on municipal water supply in the city. Creating schemes of processes for reducing and eliminating water scarcity by intensive methods, as well as combining extensive and intensive methods for solving water scarcity problems.

**Key words:** water resources, scarcity, reservoir, extensive and intensive methods, water conservation, water efficiency.

## СПИСОК АВТОРОВ

Абдали Л.М.	Севастопольский государственный университет
Бекиров Э.А.	д.т.н., профессор, Физико-технический институт, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
Будчаний А.О.	ООО «Н <sub>2</sub> О-Крым»
Витэк О.И.	обучающаяся, Академия строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
Воронова О.С.	к.т.н., доцент, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры
Головченко И.В.	к.т.н., доцент, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
Данченко Н.В.	магистрант, Академия строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
Елькина И.И.	к.т.н., доцент, Академия строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
Живица В.В.	старший преподаватель, Академия строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
Жиленко О.Б.	к.т.н., доцент, Академия строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
Ковалёв А.А.	к.т.н., доцент, Академия строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
Конопацкий Е.В.	д.т.н., доцент, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры
Котовская Е.Е.	старший преподаватель, Академия строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
Кувшинов В.В.	к.т.н., доцент, Севастопольский государственный университет
Куприй А.П.	магистрантка, Академия строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
Кутузов В.В.	к.ф-м.н., доцент, Институт экономики и управления, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
Лахов А.Я.	к.т.н., доцент, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет
Лахов К.А.	студент, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
Мосякин Д.С.	ассистент, Академия строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
Николенко И.В.	д.т.н., профессор, Академия строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
Ниметуллаева У.М.	обучающаяся, Академия строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
Поливанова М.Е.	обучающаяся, Академия строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
Привалова Е.Н.	обучающаяся, Академия строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
Селезнёв И.В.	ассистент, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры
Сидорова В.В.	канд. арх., доцент, Академия строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
Синцов А.В.	к.т.н., доцент, Академия строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
Синцов В.П.	к.т.н., доцент, Академия строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
Стрибань А.И.	магистрант, Академия строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского

## ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

**1. Прием статей в редакцию и состав сопроводительных документов**

Прием статей для публикации в журнале осуществляется в постоянном режиме. Процесс рассмотрения статьи, рецензирования и редакционно-издательской обработки занимает достаточно длительное время, в связи с чем поступившая и допущенная редколлегией к публикации статья будет, как правило, опубликована не ранее, чем через 4 месяца со дня ее поступления. Датой поступления статьи будет считаться дата ее получения от автора в окончательном варианте после всех доработок и исправлений по замечаниям рецензентов и редактора.

Просим авторов тщательно готовить свои материалы с целью сокращения сроков их рассмотрения и обработки.

*Неправильно оформленные материалы не рассматриваются, не рецензируются и не возвращаются!* Также не возвращаются авторам рукописи статей и электронные копии на локальных носителях. При этом редакция по собственной инициативе в переговоры с авторами не вступает.

1.1. Прием статей на рассмотрение и рецензирование осуществляется через онлайн систему приема статей.

Прием статей на рассмотрение и рецензирование через онлайн систему приема статей производится на сайте журнала по адресу: <https://stroyjournal-asa.ru>. Инструкция по использованию системы доступна на сайте. Автор имеет возможность следить за продвижением статьи в редакции в личном кабинете и получает соответствующие уведомления по электронной почте.

Все поступившие в редакцию статьи проходят обязательное двойное слепое рецензирование. По результатам рецензирования автору сообщается решение о публикации, замечания рецензента и редактора или решение об отклонении статьи.

**1.2. Прием к публикации окончательного варианта статьи.** Окончательный (после внесения правки по замечаниям рецензентов и редактора) вариант статьи автор также загружает через систему или направляет на электронный адрес [ger\\_bilenko@cfuv.ru](mailto:ger_bilenko@cfuv.ru) для ее редактирования, корректуры, верстки и публикации в журнале.

**1.3. Прием пакета сопроводительных документов** осуществляется через онлайн систему приема статей и по электронному адресу [ger\\_bilenko@cfuv.ru](mailto:ger_bilenko@cfuv.ru).

Автор, пройдя регистрацию в системе, загружает статью в формате .doc или .docx, форматированную по шаблону (см. п. 2), вместе с файлами отсканированных документов: экспертного заключения о возможности опубликования в открытой печати (далее – экспертного заключения) и информации об авторах статьи.

Экспертное заключение оформляется по требованиям, установленным в организации – работодателе автора. Редакция исходит из того, что авторы добровольно предоставляют сведения о себе в анкете автора в требуемом объеме и составе (в соответствии с правилами для публикаций научных статей в журналах, включенных в Перечень ВАК) для их открытого опубликования. Также к загружаемой статье может быть приложен файл отсканированной внешней (т.е. из сторонней организации) рецензии (1 экз.), оформленной и заверенной в организации по месту работы рецензента. Оригинал рецензии присылать в редакцию по почте не требуется.

Сопроводительные документы можно направить по электронной почте по адресу [ger\\_bilenko@cfuv.ru](mailto:ger_bilenko@cfuv.ru). Все вопросы и пожелания относительно пакета документов необходимо отправлять на этот адрес электронной почты редакции.

Пакет оригиналов сопроводительных документов, включающий информационную карту статьи на публикацию сведений об авторе и экспертное заключение, должен поступить в редакцию по почте не позднее 3 недель со дня уведомления автора (письмом на адрес электронной почты) о положительном решении по поводу публикации статьи.

**Бланки сопроводительных документов и требования:**

**Информация об авторах статьи.** Информация об авторах статьи загружается в систему OJS или отправляется на адрес электронной почты [ger\\_bilenko@cfuv.ru](mailto:ger_bilenko@cfuv.ru) в электронном виде в виде файла с расширением .doc или .docx;

**Бланк экспертного заключения и авторской справки** (только для авторов – работников КФУ им. В.И. Вернадского (распечатывается и заполняется вручную))

**Бланк экспертного заключения и Внешняя рецензия** – загружается в систему OJS или отправляется на адрес электронной почты [ger\\_bilenko@cfuv.ru](mailto:ger_bilenko@cfuv.ru) в сканированном виде (файл PDF).

## 2. Требования к оформлению статей

Статья будет рассмотрена редколлегией и рецензентами только при условии полного соответствия ее оформления изложенным ниже требованиям, предъявляемым к публикациям в научных журналах, индексируемых международными базами научного цитирования.

Все статьи, поступившие в редакцию журнала, получившие положительную оценку рецензентов и рекомендованные к публикации, проходят обязательную редакционную обработку (редактирование, корректуру, техническое редактирование). Внесение правки по замечаниям редактора согласовывается с автором.

Датой поступления статьи в редакцию считается дата поступления и регистрации в редакции окончательного авторского оригинала с учетом всех внесенных изменений по замечаниям рецензентов и редактора.

### Общие требования для подготовки статей

**Объем статьи**, включая таблицы, рисунки и фотографии должен быть не менее 6 страниц и не превышать 10 страниц.

**Шрифт**. Нормальный Times New Roman (TNR), размер шрифта – 10 пт, одинарный интервал; интервал шрифта – обычный (без растяжения или уплотнения). Варианты шрифта в тексте статьи: типа курсива или жирного шрифта допускаются, подчеркивание слов и предложений не допускаются.

**Параметры страницы**: верхнее поле – 2,5 см, нижнее – 2,5 см, левое – 2,5 см, правое – 2,5 см.

**Таблицы**. Таблица озаглавляется словом Таблица 1 (шрифт – обычный TNR 10 пт, по центру) со следующим за ним номером с точкой. Далее помещается название таблицы с прописной буквы (не более 3-х строк), без заключительной точки. Ниже приводится название таблицы на английском языке. Размер таблиц и рисунков не должен превышать размер B5 (12,5 × 19,5 см). Шрифт заголовков столбцов и строк, содержания таблицы – обычный TNR 9 пунктов. Таблицы нумеруются арабскими цифрами.

**Рисунки и графики**. Рисунки и графики озаглавливаются словом Рис.1 (шрифт – обычный TNR 9 пунктов) со следующим за ним номером с точкой. Рисунки выполняются в графических редакторах, совместимых с Word и размещаются по тексту. Под рисунком помещается подпись на русском и английском языках. Короткая подпись центрируется, а если длинная – форматируется с абзацем первой строки. Качество рисунков и графиков должно обеспечивать прочтение и тиражирование. Рисунки и графики нумеруются арабскими цифрами.

**Формулы**. Формулы набираются в редакторе формул Equation или Math Type. Использовать для набора формул графические объекты, кадры и таблицы запрещается. Формула располагается по центру строки, номер формулы (в круглых скобках, TNR 10 пт) – по правому краю страницы, от окружающего текста отделяется пустыми строками. Формульное окно принудительно растягивать или сжимать нельзя. Применение единиц измерений в международной системе СИ – обязательно.

### Обязательный порядок статьи.

- **УДК** в левом верхнем углу страницы, шрифт TNR 12 пт, прописными буквами
- **Название статьи шрифт** TNR 12 пт все прописными.
- **Имя и фамилия** автора(ов), шрифт обычный TNR 12 пт.
- **Место работы** авторов, шрифт обычный TNR 9 пт., адрес места работы, e-mail
- **Аннотация статьи (Abstract)** 200 – 250 слов, шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Предмет исследования (Subject)**: 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.