

# **СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

## **Construction and industrial safety**

Scientific and Technical Journal on Construction and Architecture

**№ 10(62) – 2018**

Основан в 1996 году.

Выходит 4 раза в год (ежеквартально)

### **Учредитель:**

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

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

---

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

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

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

Заместители главного редактора:  
**Любомирский Николай Владимирович**, советник  
РААСН, д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского)  
**Николенко Илья Викторович**, д.т.н., проф. (КФУ  
им. В.И. Вернадского)

Редакционная коллегия:  
**Абдулгасис У.А.**, д.т.н., проф. (КИПУ, Симферополь)  
**Бакаева Н.В.**, д.т.н., проф. (ЮЗГУ, Курск);  
**Бекиров Э.А.**, д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,  
Симферополь);  
**Беспалов В.И.**, д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону)  
**Боровский Б.И.**, д.т.н., проф. (КФУ им. В.И.  
Вернадского, Симферополь);  
**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);  
**Дворецкий А.Т.**, советник РААСН, д.т.н., проф. (КФУ  
им. В.И. Вернадского, Симферополь);  
**Дьяков И.М.**, к.т.н., доц. (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.**, 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.**, д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону);  
**Пищулина В.В.**, д.арх., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону);  
**Серпокрылов Н.С.**, д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-  
Дону);  
**Толстой М.Ю.**, к.т.н., доц. (ИРНТУ, Иркутск);  
**Цопа Н.В.**, 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.**, д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону)

## СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 10(62) – 2018  
научно-технический журнал

Печатается по решению научно-технического  
совета ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»  
(протокол № 1 от 05.03.2018)

Координатор выпуска *И.В. Николенко*  
Редактор *Н.А. Степанцова*  
Корректор *А.Н. Нестерова*  
Верстка *Г.Р. Биленко*

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

Адрес редакции: 95006, Республика Крым,  
г. Симферополь, ул. Павленко, 3, корпус 2, к. 410,  
E-mail: rio@napks.ru

Подписан в печать 30.03.2018г.  
Формат 70×108/16.  
Бумага офсетная. Печать трафаретная.  
Гарнитура Times New Roman. Усл.-печ. л.19,5  
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\\_cfuv@mail.ru](mailto:io_cfuv@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.</b> ИСТОРИЧЕСКИЕ ГОРОДА РОССИИ: ВОПРОСЫ СОХРАНЕНИЯ, РАЗВИТИЯ И ТВОРЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ.	7
<b>Шейна С.Г., Сухинин А.А., Шевцова Э.Р.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ КОМПЛЕКСНОГО РАЗВИТИЯ	21
<b>Сидорова В. В., Сорокина Н. А.</b> БИОПОЗИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, КАК ОСНОВА РАЗВИТИЯ УСТОЙЧИВОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ	27
<b>Гузненков В.Н., Журбенко П.А.</b> ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПОДГОТОВКЕ ДИЗАЙНЕРОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	41

## Раздел 2. Строительство

<b>Головченко И.В.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРЕДВИЖНОГО РАСТВОРОБЕТОННОГО УЗЛА В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР НАРУЖНОГО ВОЗДУХА	45
<b>Богущий Ю.Г.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ УСИЛЕНИЯ КАМЕННОЙ КЛАДКИ НА ПК «ЛИРА-САПР»	49
<b>Цопа Н.В.</b> О НЕОБХОДИМОСТИ УЧЕТА ФАКТОРОВ, ОКАЗЫВАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕССЫ ВОСПРОИЗВОДСТВА СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ	55
<b>Маслак А.С., Попов А.Г., Литвинова Э.В.</b> УЧЁТ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ ПРОГИБОВ БАЛОК С ПОМОЩЬЮ ИНТЕГРАЛА МОРА	65
<b>Гапеева Н.А., Жиленко О.Б.</b> АВТОНОМНОЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ	77
<b>Шаленный В.Т., Древетняк О.</b> РЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩЕЕ РАЗВИТИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ УТЕПЛЕНИЯ И ОТДЕЛКИ НАРУЖНЫХ СТЕН БЛОКАМИ ИЗ ПЕНОСТЕКЛА	89
<b>Дядичев В.В., Колесников А.В., Дядичев А.В., Дядичева Е.А.</b> МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНОЙ СТРУКТУРЫ ЗАДАННОГО КАЧЕСТВА ДЛЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ ВТОРИЧНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	97
<b>Чемодуров В. Т. , Кузьменко О.А.</b> АЭРОДИНАМИКА ВИСЯЧИХ МОСТОВ	103

<b>Корохов В.Г. Бурова И.В.</b> МОЛОТКОВАЯ ДРОБИЛКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЫПУЧИХ СТРОЙМАТЕРИАЛОВ И ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЕ РАБОЧИХ ОРГАНОВ	107
---	-----

### **Раздел 3. ИНЖЕНЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

<b>Скибо Д.В. , Толстой М.Ю.</b> МЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД НА КАНАЛИЗАЦИОННЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ КАК СПОСОБ СНИЖЕНИЯ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ	117
<b>Скибо Д.В. , Толстой М.Ю.</b> ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ПРИ РАБОТЕ НА ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЯХ	127
<b>Пашенцев А.И.</b> МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОБРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕПЛОЙ СЕТИ	135
<b>Пашенцева Л.В.</b> ТИПИЗАЦИЯ ОТКАЗОВ ГОРОДСКИХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ	147
<b>Бекиров Э.А., Анафиев А. И.</b> АНАЛИЗ РАБОТЫ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЧАСТОТЫ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ	155
<b>Бекиров Э.А., Сокут Л.Д., Муровская А.С.</b> АНАЛИЗ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНЫХ ВЕТРОЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ПОДКЛЮЧАЕМЫХ В ОБЩУЮ ЭНЕРГОСИСТЕМУ	167
<b>Соловьев А.К.</b> ЭКОНОМИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ И ПАССИВНЫЕ СИСТЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ	179
<b>Бекиров Э. А., Каркач Д. В.</b> ДВУМЕРНАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СОЛНЕЧНОМ КОЛЛЕКТОРЕ И ЕЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА	191

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

<b>Сердюк А.И., Ялалова М.</b> ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ОТРАБОТАННЫХ СВИНЦОВО-КИСЛЫХ АККУМУЛЯТОРОВ В БОРФТОРИСТОВОДОРОДНОМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ	201
<b>Пустовитенко Б.Г., Скляр А.А., Останин А.М.</b> ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ И СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ХВОСТОХРАНИЛИЩ КРУПНЫХ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ	209
<b>Руководство для авторов</b>	225

## *Content*

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

<i>Sidorova V.V.</i> HISTORICAL CITIES OF RUSSIA: ISSUES OF CONSERVATION, DEVELOPMENT AND CREATIVE PLANNING.	7
<i>Sheina S.G., Sukhinin A.A., Shevtsova E.R.</i> USE OF GEOPHYSICAL METHODS FOR THE ANALYSIS OF ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS OF THE TERRITORY OF INTEGRATED DEVELOPMENT	21
<i>Sidorova V.V., Sorokina N.A.</i> BIOPOSITIVE TECHNOLOGIES AS A BASIS OF DEVELOPMENT OF SUSTAINABLE URBAN ENVIRONMENT	27
<i>Guznenkov V.N., Zhurbenko P.A.</i> INFORMATION TECHNOLOGIES IN PREPARATION OF DESIGNERS OF INDUSTRY	41

### **Section 2. Construction**

<i>Golovchenko I.V.</i> DETERMINATION OF THE FIELD OF THE RATIONAL USE OF A MOBILE PLATE-CONCRETE UNIT IN THE CONDITIONS OF EXCESSED TEMPERATURES OF EXTERNAL AIR	45
<i>Bogutskiy Yu.G.</i> SIMULATION OF STRENGTHENING STONE MOVEMENT ON PC "LIRA-SAPR"	49
<i>Zopa N.V.</i> ON NECESSITY OF ACCOUNTING FACTORS AFFECTING INFLUENCE ON THE PROCESSES OF REPRODUCTION OF MEANS OF MECHANIZATION OF CONSTRUCTION ORGANIZATIONS	55
<i>Maslak AS, Popov AG, Litvinova E.V.</i> ACCOUNTING TRANSVERSE FORCES FOR COMPUTATION OF BEAMS BREAKDOWN WITH INTEGRAL MORA	65
<i>Gapeeva NA, Zhilenko O.B.</i> AUTONOMOUS HEAT SUPPLY OF HEIGHT BUILDINGS	77
<i>Shalenny V.T., Drewniak O.</i> RESOURCE-SAVING DEVELOPMENT OF CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF CONVENTION AND FINISHING OF OUTDOOR WALLS WITH FANS FROM Foam	89
<i>Dyadichev V.V., Kolesnikov A.V., Dyadichev A.V., Dyadicheva E.A.</i> MODEL FOR FORMING A MULTILAYER STRUCTURE OF THE QUALITY ASSURED FOR THE PROCESS OF PROCESSING SECONDARY BUILDING AND POLYMERIC MATERIALS	97
<i>Chemodurov V.T., Kuzmenko O.A.</i> AERODYNAMICS OF VISIBLE BRIDGES	103
<i>Korohov V.G., Burova I.V.</i> HAMMER MILL FOR RECEIVING THE GRANULAR MATERIALS AND THE JUSTIFICATION OF THE DESIGN CHARACTERISTICS OF ITS WORKING BODIES	107

### Section 3. Engineering Support

<i>Skibo D.V., Tolstoy M.Yu.</i> MECHANICAL SEWAGE TREATMENT AT SEWERAGE PUMPING STATIONS AS A METHOD OF REDUCING ANTHROPOGENOUS IMPACTS ON THE ENVIRONMENT	117
<i>Borovsky B.I., Dikhtyar T.V.</i> EVALUATION OF ECONOMIC INDICATORS OF CENTRIFUGAL PUMPS WHEN WORKING ON VISCOUS LIQUIDS	127
<i>Pashentsev A.I.</i> METHODOLOGICAL APPROACH TO PROCESSING THE INFORMATION OF THE FUNCTIONING OF THERMAL NETWORK	135
<i>Pashentseva L.V.</i> TYPICAL FACILITIES OF CITY THERMAL NETWORKS	147
<i>Bekirov E.A., Anafiev A.I.</i> ANALYSIS OF THE WORK OF SYNCHRONOUS MOTORS WHEN CHANGING THE FREQUENCY OF THE POWER SUPPLY NETWORK	155
<i>Bekirov E.A., Sokut L.D., Murovskaya A.S.</i> ANALYSIS OF SYSTEMS OF REGULATION OF POWERFUL VETROELECTRIC INSTALLATIONS CONNECTED TO A GENERAL ENERGY SYSTEM	167
<i>Solovyov A.K.</i> ECONOMY OF ENERGY AT THE OPERATION OF BUILDINGS AND PASSIVE SYSTEMS OF USE OF SOLAR ENERGY	179
<i>Bekirov E.A., Karkach D.V.</i> TWO-DETERMESIONAL MODEL OF THERMAL PROCESSES IN A SOLAR COLLECTOR AND ITS EXPERIMENTAL VERIFICATION	191

### Section 4. Environmental safety

<i>Serdyuk A.I., Yalalova M.</i> ENHANCEMENT OF ENVIRONMENTAL SAFETY IN PROCESSING OF WORKED LEAD-ACID ACCUMULATORS IN BORFLUOROAT HYDROGEN ELECTROLYTE	201
<i>Pustovitenko B.G., Sklyar A.A., Ostanin A.M.</i> SEISMIC PROPERTIES OF SOILS AND SEISMIC HAZARD ASSESSMENT ON TERRITORY OF A MAJOR TAILINGS MINING AND PROCESSING PLANTS	209
<i>Guidelines for Authors</i>	225

УДК 711.168

ИСТОРИЧЕСКИЕ ГОРОДА РОССИИ: ВОПРОСЫ СОХРАНЕНИЯ, РАЗВИТИЯ И  
ТВОРЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ.

Сидорова В.В.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)

ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», 295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181,

E-mail: nucikBBC@yandex.ru

**Аннотация.** В статье определены основные актуальные проблемы, связанные с сохранением и развитием исторических городов Российской Федерации. Проведен анализ решения схожих проблем в мировой практике. Даны общие рекомендации по развитию и творческому планированию исторической среды города. Рассмотрены особенности сложившейся ситуации в сфере историко-культурного наследия Республики Крым. Разработана концепция туристических пешеходных маршрутов для исторического центра г. Симферополя. На основе анализа мирового опыта предложены практические рекомендации по популяризации культурного наследия.

**Ключевые слова:** историческая среда, исторический город, объект культурного наследия, памятник архитектуры, реконструкция.

**ВВЕДЕНИЕ**

Впервые список исторических городов утвержден в 1970 году, в нем было 115 городов. В 2010 году Министерство культуры Российской Федерации утвердило список «исторических поселений». В список вошел 41 населённый пункт: Азов, Арзамас, Астрахань, Белозерск, Великий Устюг, Верхотурье, Владимир, Вольск, Выборг, Галич, Гороховец, Дербент, Елабуга, Елец, Енисейск, Зарайск, Иркутск, Каргополь, Касимов, Кинешма, Коломна, Кострома, Крапивна, Кяхта, Осташков, Плёс, Ростов, Санкт-Петербург, Смоленск, Сольвычегодск, Старочеркасск, Суздаль, Таганрог, Томск, Торжок, Торопец, Тотьма, Тутаев, Чистополь, Шуя, Ярославль, Севастополь [1].

Сохранение исторического наследия - важная задача в современном городе. В условиях глобальной урбанизации, не имея строго регламентированных правил застройки и землепользования исторической среды, при отсутствии «Историко-архитектурного опорного плана и проекта зон охраны памятников», город лишается своей архитектурно-градостроительной индивидуальности. Главная проблема состоит в том, что в таких условиях утраты исторической среды отдельный сохраняемый памятник архитектуры обесценивается по эстетическим параметрам, уменьшается его туристическая привлекательность.

Историческая городская среда есть комплексно воспринимаемое, зримое выражение архитектурно-планировочной структуры, формирование которой происходило в течение длительного периода времени [2]. В исторической городской среде особую ценность имеет взаимосвязь составляющих ее элементов: зданий, площадей, улиц. Оценивается качество их пространственного и пропорционального соотношения с учетом масштаба человека.

В современных условиях жизни высокую актуальность занимает практическое внедрение понятия «историческая городская среда», которая подлежит комплексному процессу реконструкции, включая работы по реставрации, реабилитации, ремонту, регенерации, новому строительству и благоустройству на основе «Проекта охранных зон» в соответствии с требованиями законодательства.

В России насчитывается 140 тысяч памятников истории и культуры Российской Федерации, находящихся под государственной охраной; из них 25 тысяч - памятники истории и культуры федерального значения, остальные - памятники истории и культуры регионального и местного (муниципального) значения [3].

Острой проблемой является ежегодное финансирование реставрационных работ и содержания объектов культурного наследия. По оценкам экспертов 2/3 памятников Российской Федерации нуждаются в реставрации, при этом

выделяемые средства покрывают только 15%. В мировой практике стоимость реставрации в разы выше, чем новое строительство.

Общеизвестной проблемой России XX века - начала XXI века стала постепенная утрата общества своей культурной и исторической идентичности. Снижается уровень понимания и восприятия объектов культурного наследия, отсутствуют знания о существующих памятниках архитектуры, их истории, о действующем законодательстве.

В 2017 году в список всемирного наследия ЮНЕСКО вошли 26 объектов Российской Федерации. В настоящее время ситуация в Республике Крым имеет свои сложности и серьезные проблемы. Так, например, город Севастополь вошел в список исторических городов России, но он находится на территории Крыма, а его присоединение к России не получило международного признания. В связи с данной сложной политической ситуацией специализированное учреждение ООН ЮНЕСКО прервало сотрудничество с администрациями объектов культурного наследия Республики Крым. Остался без поддержки древний город Херсонес Таврический, который входит в список всемирного наследия, но в описании указана страна Украина. Администрация «Херсонеса Таврического» все еще подает ежегодные отчеты в ЮНЕСКО. Также несколько культурных объектов ранее претендовали на включение в список всемирного наследия (Ханский дворец с комплексом пещерных городов в Бахчисарайском районе и Воронцовский дворец на Южном берегу Крыма), но работы по включению в список прерваны [4].

В федеральную целевую программу «Социально-экономическое развитие Республики Крым и Севастополя до 2020 года» вошел 21 объект культурного наследия, на работы по которым заложено 2,5 млрд. рублей [5]. Свое внимание в данном вопросе уделяет Президент РФ Владимир Владимирович Путин. поручил привести учреждения культуры и объекты культурного наследия Крыма в удовлетворительное состояние и представить отчетный доклад до 31 января 2018 года [6].

Для решения вышеуказанных проблем требуются политические, экономические, законодательные, социо-культурные изменения, которые могут занять годы. Однако ситуация может быть улучшена с помощью общественности, модернизации вертикали государственного и муниципального управления в сфере сохранения

культурного наследия, применение положительного практического опыта из мировых аналогов и проч.

**Целью** статьи является поиск решений проблем, связанных с сохранением и развитием исторических городов и отдельных памятников архитектуры в РФ с помощью анализа сложившейся ситуации и опыта зарубежных стран.

**Задачи исследований:** провести комплексный анализ проблем в сфере исторических городов и сохранения культурного наследия; выявить способы и приемы интеграции памятников архитектуры и исторической среды в современные условия города; предложить общие рекомендации по популяризации культурного наследия, на примере г. Симферополь; разработать туристический пешеходный маршрут по историческому центру г. Симферополь.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Проблемами сохранения исторических городов в своих научных трудах занимались: Крогиус В.Р. [7], Заграевский С.В. [8], Барабошина Н.В. [9], развитие туризма в исторических городах проанализировал в статье Лохайкин В.С. [10].

Соколов Ю.В. в своей статье [3] рассмотрел современное использование и адаптацию памятников архитектуры, а именно: музеефикацию, перепрофилирование, приватизацию, государственно-частное партнерство и другое.

Бабуров А. [2] сделал подробный анализ реконструкции исторических городов Великобритании, Ранинский Ю.В. в статье [11] сделал краткий обзор итогов реконструкции исторических городов XX столетия. Комплексный анализ вопросов сохранения и развития исторических городов Российской Федерации представлен в аналитическом докладе Аппарата Совета Федерации [12]. В статьях [13], [14] рассмотрены примеры градостроительной реконструкции исторических кварталов городов, значительно пострадавших во время Второй мировой войны.

И.В. Гревцова в своей статье [15] детально описала инновационные предложения в области виртуальной интерпретации культурного наследия и применением новых информационных технологий на примере «Проекта комплексной реконструкции и музейной охраны Археологического Парка при замке Калафель» (Испания).

В статье [16] приводится описание современного развития крупнейшей агломерации Германии - Рурского региона. Промышленность здесь была успешно заменена инновационными технологиями; регион превратился из «серого» в «зеленый».

В статье [17] рассматриваются различные подходы, когда современная архитектура сталкивается с исторической средой.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В процессе исследования были применены: научный анализ нормативно-законодательной базы Российской Федерации в сфере охраны культурного наследия; анализ практического мирового опыта по развитию и сохранению исторических городов, его сравнение и определение наиболее успешных примеров; натурные обследования и фотофиксация исторического центра г. Симферополя, картографические работы по нанесению существующих памятников архитектуры и экспериментальное моделирование туристического маршрута г. Симферополя.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Архитектурное наследие, отражая все сферы человеческой деятельности, является носителем культуры общества, народа, нации, человека во всей полноте и многообразии форм... [18].

В результате анализа мирового опыта, были определены четыре основных способа интеграции памятников в жизнь современного города и введения их в экономический оборот, которые получили широкое применение:

- приватизация памятников с наложением обременения на частных собственников;
- девелопмент объектов наследия;
- развитие культурного и познавательного туризма и создание на базе объектов наследия туристических продуктов и брендов;
- продажа «аурь» исторического и культурного наследия, когда привлекательность исторических городов и отдельных исторических районов используется для увеличения стоимости новой недвижимости [12]. Данные способы получили общее название «витализация» культурного и исторического наследия.

**Приватизация.** Такие объекты, как загородные дворцы Англии, замки Луары во

Франции и многие другие на протяжении веков находятся в частных руках, но при этом все желающие могут посещать их и наслаждаться красотой и неповторимостью на экскурсиях. Такие позитивные примеры успешно работают в результате эффективного государственного механизма управления и контроля за переданными в частную собственность зданиями. Например, Чехии существует возможность купить замок за один доллар, однако с обозначенными четкими обязательствами перед государством. Новый владелец берет на себя все расходы связанные с сохранением, содержанием и функционированием замка. В России по аналогии пытаются ввести приватизацию памятников (имений, усадеб) условно за один рубль.

В странах Европейского союза при помощи приватизации памятников государство стремится освободиться от сложностей и финансовых затрат, связанных с реставрацией и обеспечением надлежащего состояния памятников. За рубежом успешно работает принцип поощрений (субсидий и льгот) и наказаний (штрафов, уголовной ответственности, вплоть до изъятия объектов из собственности без возмещения материальных вложений).

Вопросы государственно-частного партнерства в сфере использования историко-культурного наследия, были рассмотрены на круглом столе 25 апреля 2017 года в Общественной Палате Республики Крым.

**Девелопмент.** В мировой практике девелопмент применяют для регенерации или восстановления исторических районов рядовой промышленной и жилой застройки, при условии, что она не представляет культурной и исторической ценности. Примерами успешного девелопмента из мировой практики являются: регенерация доков в г. Лондоне и г. Гамбурге; индустриальный парк Эмшер (Emscher Park) на месте закрытых угольных шахт в г. Рур; торговые улицы в районах исторической застройки различных городов.

Необходимо учитывать, что девелопмент является наименее щадящим способом регенерации объектов культурного наследия. Однако в России девелопмент стоит на первом месте как способ капитализации объектов культурного наследия. Негативной стороной является то, что в России государство не предоставляет инвесторам поощрения, которые бы стимулировали их к бережному обращению с реконструируемыми памятниками и к сохранению их подлинности [12].

**Туризм.** С помощью туризма во многих странах мира решаются вопросы окупаемости финансовых затрат на объекты культурного наследия. Он достаточно эффективно обеспечивает возврат инвестиций в реконструкцию и на содержание объектов. Туризм в настоящее время составляет более 30% от общей доли мировой торговли услугами.

В Европе сформировалось целое направление в области государственного управления - «менеджмент наследия», которое уже более 30 лет успешно работает в сфере сохранения и регенерации объектов наследия.

Необходимо сохранять уникальность, самобытность, особенности и неповторимый колорит, как отдельных памятников архитектуры, так и исторической среды города. Именно они являются объектами привлекательности туристических потоков.

Положительный опыт развития исторической среды показал, что памятники могут стать прекрасной основой, базой для создания инфраструктуры туризма. Эффективным является прием функциональной реорганизации памятника архитектуры. Например, объект перепрофилируют под действующую vip-гостиницу, торговый центр, музей и т.п. В этом случае памятник окупает затраты на его содержание, реконструкцию и даже начинает приносить прибыль.

Важным градостроительным фактором исторического города является его массовая застройка. В современных условиях её необходимо модернизировать в туристически комфортную - это значит создавать удобное транспортное обслуживание, кафе, развлекательные учреждения, гостиницы и прочее. Без этого даже самый выдающийся памятник архитектуры не сможет реализовать свой туристический потенциал.

Как показал практический опыт, отдельно друг от друга вышеуказанные методы работают не идеально, а успешно функционируют только в комплексе.

**Транспортно-пешеходные связи.** В условиях исторической среды города рекомендуется ограничивать активные транспортные потоки. В практическом опыте выявлены положительные примеры, в которых с этой целью применено устройство распределительного кольца или полукольца с примыканием автопарковки. Доступ в саму историческую зону оставляют преимущественно пешеходным с элементами озеленения территории и благоустройством.

транспортной доступности центра и превращение его преимущественно в пешеходную зону. Также в мировом опыте замкнутые пространства исторической застройки соединяют парадными улицами.

Утверждена Программа «Социально-экономического развития Республики Крым и г. Севастополя до 2020 года». Реализация программы началась с экстренного проведения противоаварийных работ на объектах с историко-культурных исследований. На некоторых объектах удалось выявить новые ценные культурные слои. Расширена область проводимых исследований, продлены сроки, изменен первоначальный объём работ.

После этапа историко-культурных исследований планируется перейти к этапу проектирования ремонтно-реставрационных работ, определить и уточнить предмет охраны объекта, а также разработать принцип сохранности объекта в его исторической среде. Сюда входят: обоснование границ памятника и границ охранной территории памятника. Этап проектирования обозначит объём и виды ремонтно-реставрационных работ на объектах культурного наследия, вошедших в программу и позволит обосновать размер дальнейшего финансирования [5].

В г. Симферополь по данным Государственного комитета по охране культурного наследия Республики Крым насчитывается 232 объекта культурного наследия, из них: 110 памятников архитектуры, 115 памятников истории и монументального искусства, 7 выявленных объектов – зданий и сооружений, представляющих историко-культурную ценность [19].

Большая часть памятников архитектуры, археологии, градостроительства и монументального искусства находится в удовлетворительном техническом состоянии. Однако в настоящее время многие памятники архитектуры нуждаются в той или иной степени в реконструкции или реставрации.

В результате анализа мирового опыта совместно с магистрантами кафедры Градостроительства (Стехиной А., Смородиновой А.) выявлены положительные практические рекомендации, которые предлагается применить для популяризации культурного наследия г. Симферополя:

1. Создание удобных пешеходных маршрутов. Экскурсии с помощью наглядных карт достопримечательностей города. До настоящего

времени для г. Симферополь туристическая карта не была разработана. Подобные карты-схемы – непревзойденные помощники туристам.

2. Для создания туристической инфраструктуры и обогащения сложившейся исторической среды города, рекомендуется создать так называемый «Музейный остров - улица мастеров», на участке маршрута 1-2 (рис. 1, 2), где на базе сложившейся рядовой застройки улицы могут быть созданы дополнительные музейные корпуса Симферопольского художественного музея (памятник архитектуры, здание офицерского собрания 51-пехотного полка), а также созданы действующие творческие художественно-прикладные мастерские многочисленных народов Крыма (гончарные, по ковке, вышивке, вязанию, резьбе по дереву, скульптуре и др.). В таких мастерских туристы могли бы не только увидеть готовые изделия и процесс их изготовления умельцами, но и попробовать создать что-то своими руками.

3. Организация и проведение экскурсии с помощью различных приложений для смартфонов и гаджетов или использование голограмм для исторических представлений. Подобные нововведения способствуют привлечению более широкого круга аудитории, в большей степени молодежи.

4. Проведение исторических или историко-архитектурных фестивалей и квестов. Это

эффективные приемы приобщения молодежи к истории интерактивными способами с широким использованием гаджетов.

5. Подсветка зданий и сооружений в вечернее время, лазерно-световые шоу для организации вечерних экскурсий. Подобные нововведения помогут сделать нужные световые акценты на архитектурных образах, обогатят эстетику вечернего вида города, и обязательно будут способствовать привлечению туристов.

По результатам проведенных натуральных обследований исторического центра г. Симферополь был разработан пешеходный экскурсионный маршрут с возможным использованием аудио экскурсий и экскурсий с помощью приложений для смартфонов. Предложенные рекомендации и наработки могут быть применимы для различных городов для повышения их туристической привлекательности.

Результатом исследования является предложение по разработке пешеходных маршрутов по памятникам архитектуры центральной исторической части г. Симферополя (рис.1-5).



**Рис. 1.** Пешеходный туристических маршрут г. Симферополь. Авторы: Стехина А., Смородинова А. руководитель: Сидорова В.В.

**Fig. 1.** Pedestrian tourist route in the city of Simferopol. Authors: Stekhina A., Smorodinova A. head: Sidorova V.



**Рис. 2.** Пешеходный туристический маршрут г. Симферополь. Фрагмент от ж/д вокзала до Собора А.Невского. Авторы: Стехина А., Смородинова А. руководитель: Сидорова В.В.

**Fig. 2.** Pedestrian tourist route in the city of Simferopol. A fragment from the railway station to Alexander Nevsky Cathedral. Authors: Stekhina A., Smorodinova A. head: Sidorova V.

Для маршрута выбрана территория центральной части города. Здесь сконцентрировано наибольшее количество достопримечательностей. В предложенной схеме маршрут включает 59 памятников архитектуры.

Для удобства использования схем маршрута для туристов, были разработаны фрагменты пешеходного пути с изображениями зданий и краткой информацией о памятниках архитектуры. Из-за обилия объектов культурного наследия в центральной части г. Симферополя, было разработано несколько слайдов центра с изображением и описанием всех памятников архитектуры на маршруте (рис. 3-7). На опорных планах темно-зеленым цветом выделены памятники архитектуры. Каждому памятнику присвоен номер, отражающий порядок размещения на маршруте. Все схемы рекомендуется издать в виде компактной брошюры для удобства туристов и жителей города.

Для реализации предложенных маршрутов необходимо выполнение сопутствующих обязательных мероприятий:

1. Реставрация объектов культурного наследия (в случае необходимости). Главным результатом реставрационных работ должно стать сохранение или восстановление архитектурно-художественного образа памятника архитектуры.

2. Установка специальных табличек и указателей не только на самих зданиях – памятниках архитектуры, но и по пути маршрута.

3. Благоустройство прилегающих к памятникам территорий. Декоративное озеленение пешеходных маршрутов. Обязательное устройство урн, малых архитектурных форм, мест для краткого отдыха пеших туристов.

4. Создание комфортных условий для пешеходного, вело и авто туризма.

5. Применение положительного мирового опыта: разработка мобильных карт, приложений, организация исторических или историко-архитектурных фестивалей, молодежных квестов, ночная подсветка фасадов зданий и др.



Рис. 3. Пешеходный туристических маршрут г. Симферополь. Фрагмент центральной части. Авторы: Стехина А., Смородинова А. Руководитель: Сидорова В.В.

Fig. 3. Pedestrian tourist route in the city of Simferopol. Fragment of the central part. Authors: Stekhina A., Smorodinova A. head: Sidorova V.

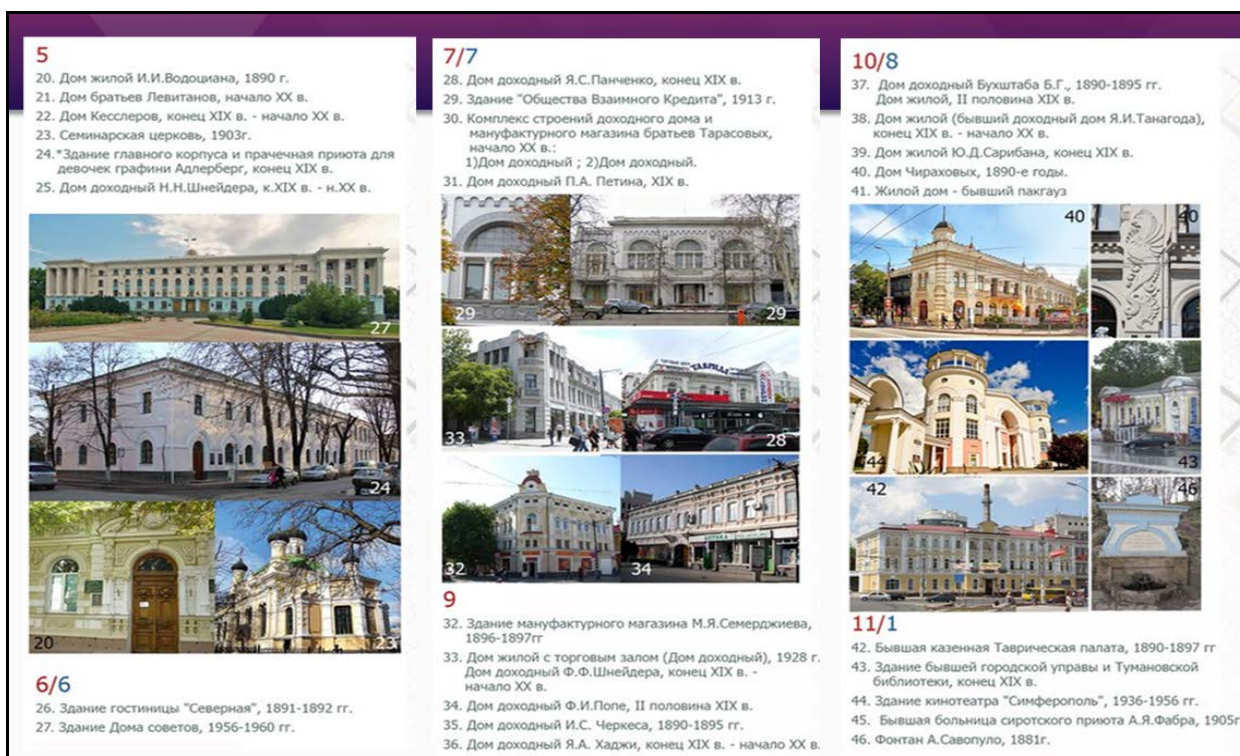


Рис. 4. Памятники архитектуры на пути туристического маршрута г. Симферополя.

Fig. 4. Architectural monuments on the way of the tourist route of Simferopol



Рис. 5. Памятники архитектуры на пути туристического маршрута г. Симферополя

Fig. 5. Architectural monuments on the way of the tourist route of Simferopol

Улицы столицы Республики Крым богаты интересными историческими событиями и памятниками архитектуры, однако не все жители и гости знают это. Прикоснуться к душе города можно совершив неторопливую прогулку всего по одной улице - ул. Пушкина (бывшая ул. Приютинская), на которой насчитывается более 20 памятников истории, монументального искусства и архитектуры. Исторический центр Симферополя представлен четкой прямоугольной планировкой XVIII века [20]. Это лишь малая часть архитектурного наследия города Симферополя.

К сожалению, низкий уровень благоустройства, наличие хаотичной застройки, обилие торговых павильонов и неэстетичных рекламных площадей, мусор и прочее - сформировали отнюдь неприглядный образ Симферополя, из которого туристы стремятся поскорее уехать к морю. К сожалению, в настоящее время отсутствует интересная экскурсионная программа для туристов по городу Симферополю.

В осуществленных целостных реставрациях исторического ядра г.Таллина, г. Вильнюса и г. Львова, в реконструкции ул. Пушкинской в Одессе, ул. Старый Арбат в Москве, реставрации исторической рядовой застройки г. Суздалья, г. Гороховца, г. Тбилиси, г. Москвы, г Санкт-Петербурга - главной идеей было стремление к единству в архитектурном облике отдельных

фрагментов и центров городов. Целостная реставрация - наиболее позитивный прием, отраженный и на других мировых примерах [14].

Как показывает положительный опыт, в проектах реконструкции хорошо работает комплексный подход, затрагивающий все составляющие улицы.

Основной задачей для устранения сформировавшихся проблем является внедрение существующего мирового опыта по проведению программ и мероприятий, направленных на сохранение и популяризацию объектов культурного наследия. Необходимо обеспечить доступ жителей города и приезжих к культурным ценностям, приобщить их к участию в культурной жизни.

## ВЫВОДЫ

«Каждый обязан заботиться о сохранении исторического и культурного наследия, беречь памятники истории и культуры» (Статья 44 Конституции Российской Федерации). Для осуществления этого необходимо разработать механизм общественного мониторинга, экспертизы, обсуждений мероприятий в ходе реализации по реконструкции и содержанию объектов культурного наследия.

Известно, что культура, экономика, социальные процессы взаимосвязаны и влияют на развитие города в целом. Важно со школьной скамьи прививать детям любовь к искусству, истории, архитектуре и культуре предков; создавать школьные и студенческие отряды по сохранению и благоустройству исторической среды.

Основным решением многочисленных проблем в исторических поселениях является грамотная государственная политика, направленная на их восстановление, реконструкцию, сохранение и развитие.

Как показал опыт, градостроительные проблемы возможно преодолеть только на основе утвержденных градостроительных регламентов, разработанных режимов использования земель, охранных зон, проектов границ исторических центров и т.п. Важно жестко ограничить новое строительство на территориях исторических центров и в непосредственной близости от памятников архитектуры.

В результате анализа различных способов интеграции памятников в современную жизнь города, наиболее перспективными определены: передача памятников культуры и истории в частные руки при условии совершенного механизма управления и государственного контроля, а также создание инфраструктуры и развития туризма для их популяризации. Такими способами возможно сохранить большее количество памятников в исторической среде города. При этом сократить расходы государства.

В настоящее время под руководством автора ведется работа над магистерской диссертацией, одним из пунктов которой станут практические рекомендации и проектные предложения по формированию «музейного острова» в г. Симферополь.

Многие проблемы и вопросы еще требуют детальных исследований и конкретных предложений для внедрения в законодательную базу.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ Министерства культуры Российской Федерации, Министерства регионального развития Российской Федерации от 29 июля 2010 г. N 418/339 г. Москва «Об утверждении перечня исторических поселений»
2. Бабуров А. О реконструкции исторических городов Великобритании // Теория и практика реставрационных работ. Сборник № 3. НИИТИиППСА. М., 1972. Режим доступа: <http://art-con.ru/node/5609> (дата обращения 25.11.17).
3. Соколов Ю.В. Современное использование памятников архитектуры // Гуманитарные научные исследования. 2016. № 7 [Электронный ресурс]. URL: <http://human.snauka.ru/2016/07/15840> (дата обращения: 25.11.17).
4. ЮНЕСКО отказалось защищать объекты культурного наследия Крыма // ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОРТАЛ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ КРЫМА., 2017. Режим доступа: <http://stroy-krim.org/encyclopedia/news/yunesko-otkazalos-zashchishchat-obekty-kulturnogo-naslediya-kryma> (дата обращения: 25.11.17).
5. В рамках федерально-целевой программы в Крыму будут отреставрированы 21 объект культурного наследия // ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОРТАЛ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ КРЫМА., 2017. Режим доступа: <http://stroy-krim.org/encyclopedia/news/v-ramkah-federalno-celevooy-programmy-v-krymu-budut-otrestavrirovany-21-obekt> (дата обращения: 25.11.17).
6. Путин поручил привести в порядок объекты культурного наследия Крыма // ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОРТАЛ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ КРЫМА., 2017. Режим доступа: <http://stroy-krim.org/encyclopedia/news/putin-poruchil-privesti-v-poryadok-obekty-kulturnogo-naslediya-kryma> (дата обращения: 25.11.17).
7. Крогиус, В.Р. Исторические города России как феномен ее культурного наследия / В.Р. Крогиус. – М.: Прогресс-Традиция, 2009. – 321 с.
8. Заграевский, С.В. Культурно-историческая среда российских городов. Способы ее сохранения [Электронный ресурс] / С.В. Заграевский // Территория и планирование. – 2011. – № 2(32). С.4-13. Режим доступа: URL: <http://terraplan.ru/arhiv/56-2-32-2011/975-658.html> (дата обращения: 25.11.17).
9. Барабошина, Н.В. Малые города России: как остаться в истории [Электронный ресурс] / Н.В. Барабошина // Ярославский педагогический вестник, 2012. № 3. Том I (Гуманитарные науки). С.254-256 Режим доступа: URL: [http://vestnik.yspu.org/releases/2012\\_3g/56.pdf](http://vestnik.yspu.org/releases/2012_3g/56.pdf) (дата обращения: 25.11.17).
10. Лохайкин, В.С. РАЗВИТИЕ ТУРИЗМА В МАЛОМ ИСТОРИЧЕСКОМ ГОРОДЕ КАК ЗАКОНОМЕРНЫЙ СОЦИОКУЛЬТУРНЫЙ ПРОЦЕСС В XXI ВЕКЕ [Электронный ресурс] / В.С. Лохайкин // Архитектон: известия вузов. –

2014. – №3(47). Режим доступа: URL: [http://archvuz.ru/2014\\_3/5](http://archvuz.ru/2014_3/5) (дата обращения: 25.11.17).

11. Ранинский Ю.В. РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИЧЕСКИХ ГОРОДОВ: ИТОГИ XX СТОЛЕТИЯ [Электронный ресурс] / Ю.В. Ранинский // Архитектон: известия вузов. – 2012. – № 39 Приложение. – Режим доступа: [http://archvuz.ru/2012\\_33/8](http://archvuz.ru/2012_33/8) (дата обращения: 25.11.17).

12. Исторические города России: сохранение и развитие. Аналитический доклад. Материалы представлены Аналитическим управлением Аппарата Совета Федерации // И.В. Барбашин, В.Н. Макарычев, В.Е. Данилова, О.М. Северьянова, Г.С. Добкин и др. Москва., 2011. - 121 с.

13. Шерешевский А.Л. Подходы к реконструкции архитектурно-градостроительной среды на примере послевоенных восстановлений исторических городов. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 17, №1(2), 2015, с.511-516 Режим доступа: [http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2015/2015\\_1\\_511\\_516.pdf](http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2015/2015_1_511_516.pdf) (дата обращения: 25.11.17).

14. Соколова Т.Н. Формирование некоторых тенденций реставрационной методики в послевоенное время [Электронный ресурс]: «ARTconservation» - социальный специализированный ресурс информационного содействия в сфере сохранения, консервации и реставрации памятников материальной культуры. – Режим доступа: <http://art-con.ru/node/1168> (дата обращения: 25.11.17).

15. Гревцова И.В. Проекты комплексной реконструкции и музеефикации исторических кварталов в городах Европы: основные направления и новые тенденции. АМТ 1 (18) 2012. Режим доступа: <http://www.marhi.ru/AMT/2012/1kvart12/grevtsova/grevtsova.pdf> (дата обращения: 25.11.17).

16. Dietwald Gruehn PARADIGM SHIFT IN THE RUHR REGION: FROM INDUSTRY TO INNOVATION – FROM GREY TO GREEN p. 26-31 [http://geokyiv.org/pdf/reports/3\\_Gruehn.pdf](http://geokyiv.org/pdf/reports/3_Gruehn.pdf) (дата обращения: 25.11.17).

17. Raffaele Gambassi. IDENTITY OF MODERN ARCHITECTURE IN HISTORICAL CITY ENVIRONMENTS. Architecture and Engineering. Vol 1, No 2 (2016) <http://aej.spbgasu.ru/index.php/AE/article/view/35> (дата обращения: 25.11.17).

18. Хартия архитектурного наследия. Принята на Международном конгрессе реставраторов в Москве в мае 1996 г. // Архитектура, строительство, дизайн. - 1999. - № 1 (11)

19. Список объектов культурного наследия (памятники архитектуры, истории, монументального искусства и выявленные объекты культурного наследия), расположенных на территории Республики Крым (по состоянию на 01.11.2015) [Электронный ресурс]: сайт Государственного комитета по охране культурного наследия Республики Крым. – Режим доступа: [http://gkokn.rk.gov.ru/file/laquoramyatniki\\_kuljturnogo\\_naslediya\\_respubliki\\_krimraquo\\_1.pdf](http://gkokn.rk.gov.ru/file/laquoramyatniki_kuljturnogo_naslediya_respubliki_krimraquo_1.pdf) (дата обращения: 25.11.17).

20. Культурное наследие города Симферополя. Прогулка по улице Пушкина [Электронный ресурс]: Официальный сайт Симферопольского городского совета. - Режим доступа: <http://simgov.ru/gorod-simferopol/kulturnoe-nasledie-goroda-simferopolya/progulka-po-ulice-pushkina/> (дата обращения: 25.11.17).

## REFERENCES

1. Prikaz Ministerstva kultury Rossijskoj Federacii, Ministerstva regional'nogo razvitija Rossijskoj Federacii ot 29 ijulja 2010 g. N 418/339 g. Moskva «Ob utverzhdenii perechnja istoricheskikh poselenij» [Order of the Ministry of Culture of the Russian Federation, Ministry of Regional Development of the Russian Federation of July 29, 2010 No. 418/339 Moscow "On the approval of the list of historical settlements"]

2. Baburov A. On the reconstruction of the historic cities of Great Britain // Teorija i praktika restavracionnyh работ. Sbornik № 3. NIITIIPSA. M., 1972. Rezhim dostupa: <http://art-con.ru/node/5609> (data obrashhenija 25.11.17). (In Russian).

3. Sokolov Ju.V. Modern use of architectural monuments // Gumanitarnye nauchnye issledovanija. 2016. № 7 [Jelektronnyj resurs]. URL: <http://human.snauka.ru/2016/07/15840> (data obrashhenija: 25.11.17). (In Russian).

4. UNESCO refused to protect objects of cultural heritage of the Crimea // INFORMACIONNYJ PORTAL STROITEL'NOJ OTRASLI KRYMA., 2017. Rezhim dostupa: <http://stroy-krim.org/encyclopedia/news/yunesko-otkazalos-zashchishchat-obekty-kultumogo-naslediya-kryma> (data obrashhenija: 25.11.17). (In Russian).

5. As part of the federal target program in the Crimea will be restored 21 objects of cultural heritage // INFORMACIONNYJ PORTAL STROITEL'NOJ OTRASLI KRYMA., 2017. Rezhim dostupa: <http://stroy-krim.org/encyclopedia/news/v-ramkah-federalno-celevoy-programmy-v-krymu-budut->

- otrestavrirovany-21-obekt (data obrashhenija: 25.11.17). (In Russian).
6. Putin instructed to put in order the objects of the cultural heritage of the Crimea // INFORMACIONNYJ PORTAL STROITEL'NOJ OTRASLI KRYMA., 2017. Rezhim dostupa: <http://stroy-krim.org/encyclopedia/news/putin-poruchil-privesti-v-poryadok-obekty-kulturnogo-naslediya-kryma> (data obrashhenija: 25.11.17). (In Russian).
7. Krogius, V.R. Istoricheskie goroda Rossii kak fenomen ee kul'turnogo nasledija [Historical cities of Russia as a phenomenon of its cultural heritage] / V.R. Krogius. – M.: Progress-Tradicija, 2009. – 321 p.
8. Zagraevskij, S.V. Kul'turno-istoricheskaja sreda rossijskih gorodov. Sposoby ee sohraneniya [Elektronnyj resurs] / S.V. Zagraevskij // Territorija i planirovanie. – 2011. – No. 2(32). pp.4-13. Rezhim dostupa: URL: <http://terraplan.ru/arhiv/56-2-32-2011/975-658.html> (data obrashhenija: 25.11.17). (In Russian).
9. Baraboshina, N.V. Cultural and historical environment of Russian cities. The ways of its preservation / N.V. Baraboshina // Jaroslavskij pedagogicheskij vestnik, 2012. No. 3. Tom I (Gumanitarnye nauki). S.254-256 Rezhim dostupa: URL: [http://vestnik.yspu.org/releases/2012\\_3g/56.pdf](http://vestnik.yspu.org/releases/2012_3g/56.pdf) (data obrashhenija: 25.11.17). (In Russian).
10. Lohajkin, V.S. RAZVITIE TURIZMA V MALOM ISTORICHESKOM GORODE KAK ZAKONOMERNYJ SOCIOKUL'TURNYJ PROCESS V XXI VEKE [Elektronnyj resurs] / V.S. Lohajkin // Arhitekton: izvestija vuzov. – 2014. – No 3(47). Rezhim dostupa: URL: [http://archvuz.ru/2014\\_3/5](http://archvuz.ru/2014_3/5) (data obrashhenija: 25.11.17).
11. Raninskij Ju.V. RECONSTRUCTION OF HISTORICAL CITIES: THE RESULTS OF THE XX CENTURY / Ju.V. Raninskij // Arhitekton: izvestija vuzov. – 2012. – № 39 Prilozhenie. – Rezhim dostupa: [http://archvuz.ru/2012\\_33/8](http://archvuz.ru/2012_33/8) (data obrashhenija: 25.11.17). (In Russian).
12. Istoricheskie goroda Rossii: sohranenie i razvitie. Analiticheskij doklad. Materialy predstavleny Analiticheskim upravleniem Apparata Soveta Federacii [Historical cities of Russia: preservation and development. Analytical report. The materials are presented by the Analytical Department of the Council of Federation Staff] // I.V. Barbashin, V.N. Makarychev, V.E. Danilova, O.M. Sever'janova, G.S. Dobkin i dr. Moskva., 2011. - 121 p.
13. Shereshevskij A.L. Approaches to the reconstruction of architectural and urban environment on the example of post-war restoration of historical cities. Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk, t. 17, №1(2), 2015, s.511-516 Rezhim dostupa: [http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2015/2015\\_1\\_511\\_516.pdf](http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2015/2015_1_511_516.pdf) (data obrashhenija: 25.11.17). (In Russian).
14. Sokolova T.N. Formation of some trends in the restoration methodology in the post-war period. «ARTconservation» - social'nyj specializirovannyj resurs informacionnogo sodejstvija v sfere sohraneniya, konservacii i restavracii pamjatnikov material'noj kul'tury. – Rezhim dostupa: <http://art-con.ru/node/1168> (data obrashhenija: 25.11.17). (In Russian).
15. Grevcova I.V. Projects of complex reconstruction and museums of historical quarters in the cities of Europe: the main directions and new trends. AMIT No. 1 (18) 2012. Rezhim dostupa: <http://www.marhi.ru/AMIT/2012/1kvart12/grevtsova/grevtsova.pdf> (data obrashhenija: 25.11.17). (In Russian).
16. Dietwald Gruehn PARADIGM SHIFT IN THE RUHR REGION: FROM INDUSTRY TO INNOVATION – FROM GREY TO GREEN r. 26-31 [http://geokyiv.org/pdf/reports/3\\_Gruehn.pdf](http://geokyiv.org/pdf/reports/3_Gruehn.pdf) (data obrashhenija: 25.11.17).
17. Raffaele Gambassi. IDENTITY OF MODERN ARCHITECTURE IN HISTORICAL CITY ENVIRONMENTS. Architecture and Engineering. Vol 1, No 2 (2016) <http://aej.spbgasu.ru/index.php/AE/article/view/35> (data obrashhenija: 25.11.17).
18. Hartija arhitekturnogo nasledija. Prinjata na Mezhdunarodnom kongresse restavradorov v Moskve v mae 1996. // Arhitektura, stroitel'stvo, dizajn [Charter of Architectural Heritage. Adopted at the International Congress of Restorers in Moscow in May 1996 // Architecture, construction, design.]. - 1999. - № 1 (11)
19. Spisok ob'ektov kul'turnogo nasledija (pamjatniki arhitektury, istorii, monumental'nogo iskusstva i vyjavlennye ob'ekty kul'turnogo nasledija), raspolozhennyh na territorii Respubliki Krym (po sostojaniju na 01.11.2015) [List of objects of cultural heritage (monuments of architecture, history, monumental art and identified objects of cultural heritage) located on the territory of the Republic of Crimea (as of 01.11.2015)]: sajt Gosudarstvennogo komiteta po ohrane kul'turnogo nasledija Respubliki Krym. – Rezhim dostupa: [http://gkokn.rk.gov.ru/file/laquopamyatniki\\_kulturnogo\\_naslediya\\_respubliki\\_krimraquo\\_1.pdf](http://gkokn.rk.gov.ru/file/laquopamyatniki_kulturnogo_naslediya_respubliki_krimraquo_1.pdf) (data obrashhenija: 25.11.17). (In Russian).
20. Cultural heritage of the city of Simferopol. Walking along Pushkin street. Oficial'nyj sajt Simferopol'skogo gorodskogo soveta. - Rezhim dostupa: <http://simgov.ru/gorod-simferopol/kulturnoe-nasledie-goroda-simferopolya/progulka-po-ulice-pushkina/> (data obrashhenija: 25.11.17). (In Russian).

HISTORICAL CITIES OF RUSSIA: ISSUES OF CONSERVATION, DEVELOPMENT AND  
CREATIVE PLANNING

Sidorova V.V.

**Summary** The article identifies the main current problems related to the preservation and development of historical cities of the Russian Federation. The analysis of the solution of similar problems in the world practice is carried out. General recommendations on the development and creative planning of the historical environment of the city are given. The peculiarities of the current situation in the sphere of the historical and cultural heritage of the Republic of Crimea are considered. The concept of hiking trails for the historical center of Simferopol is developed. Based on the analysis of world experience, practical recommendations on the popularization of cultural heritage are proposed.

**Keywords:** historical environment, historical city, cultural heritage, architectural monument, reconstruction.



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ КОМПЛЕКСНОГО РАЗВИТИЯ

Шеина С.Г., Сухинин А.А., Шевцова Э.Р.

Академия Строительства и Архитектуры

Донского государственного технического университета

Адрес: г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая 162

E-mail: rgsu-gsh@mail.ru;

dkunknownhuman@gmail.com; elinashevtsova@yandex.ru

**Аннотация.** На основании изменений в законодательстве РФ, Департаментом архитектуры и градостроительства города Ростова-на-Дону выделены территории, пригодные для их комплексного развития в процессе проведения реконструкции. Для анализа инженерно-геологических условий выделенных территорий недостаточно использование стандартных результатов изысканий, в виду их значительной площади. Для уточненного анализа предлагается использование геофизических методов исследования грунта: георадиолокации и сейсморазведки маломощными источниками колебаний.

**Ключевые слова:** Комплексное развитие, инженерно-геологические условия, геофизические исследования.

### ВВЕДЕНИЕ

Оценка инвестиционной привлекательности территории комплексного развития - сложная и многокомпонентная задача. Её решение без системного подхода, в современных условиях, не возможно. Для формирования объективного результата необходимо проведение комплексной оценки территории. В настоящее время для решения данной проблемы используются специальные геоинформационные, математические и иные методы. Какими бы при этом ни были совершенными методы оценки параметров, результат оценки будет сильно зависеть от полноты самого параметра, участвующего в оценке. В нашем исследовании мы остановимся на изучении инженерно-геологических условий территории комплексного развития.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Как известно, с 01.01.2017 вступили в силу изменения в ГрК РФ и ЗК РФ, на основании 373-ФЗ. В результате чего, в городе Ростове-на-Дону, по инициативе органа местного самоуправления, выделены четыре территории комплексного развития (Рисунок 1). Территории выделены на основании критериев комплексного развития согласно статье 46.10 ГрК РФ [1]:

- 1) не менее 50 процентов от общей площади территории занимают земельные участки, на которых расположены аварийные и подлежащие сносу объекты капитального строительства;
- 2) не менее 50 процентов от общей площади территории занимают земельные участки, на которых расположены объекты капитального строительства (за исключением многоквартирных домов), снос, реконструкция которых планируются на основании муниципальных адресных программ;
- 3) не менее 50 процентов от общей площади территории занимают земельные участки, на которых расположены объекты капитального строительства, признанные самовольными постройками;
- 4) не менее 50 процентов от общей площади территории занимают земельные участки, виды разрешенного использования которых, и (или) виды разрешенного использования и характеристики расположенных на которых объектов капитального строительства не соответствуют видам разрешенного использования земельных участков и объектов капитального строительства и предельным параметрам строительства, реконструкции объектов капитального строительства, установленным правилами землепользования и застройки.

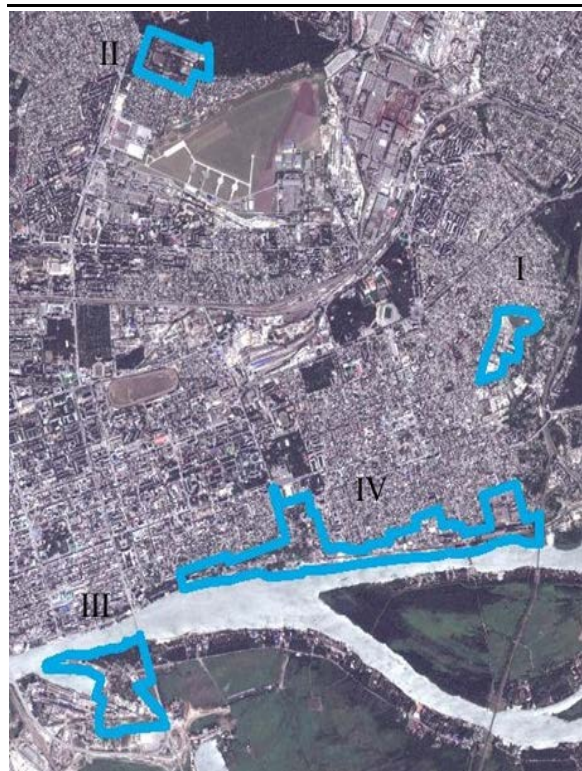


Рисунок 1. Карта расположения территорий комплексного развития.

Из перечисленных критериев на территории города Ростова-на-Дону применим четвертый. Выделенные территории имеют достаточно большую площадь, которая колеблется от 0,23 км<sup>2</sup> до 13,3 км<sup>2</sup>. Это, в свою очередь, подразумевает огромные объемы инженерно-геологических изысканий, если рассматривать территорию в целом. Так на территории I, площадью 0,23 км<sup>2</sup> для разработки обоснований инвестиций, необходимо провести бурение более двух тысяч скважин и расположить шесть тысяч маршрутных точек наблюдения для построения карты масштабом 1:10000 [2]. При этом, для территории IV, площадью более 13 км<sup>2</sup>, их количество увеличится в десятки раз. Для разработки проекта строительства применяются масштабы 1:2000 и 1:5000, что ещё больше увеличивает количество выработок. В случае с высокой ответственностью уникальных зданий и сооружений предписывается выполнять съемку в масштабе 1:1000-1:500.

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является определение способов получения более точных данных об инженерно-геологических условиях на территории комплексного развития, с возможностью их применимости в условиях городской застройки.

## ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ С РЕЗУЛЬТАТАМИ И ИХ АНАЛИЗОМ

Сократить объемы инженерно-геологических изысканий позволяют геофизические методы исследования грунта. Ввиду того что, реконструкция ведется в условиях развития застроенных территорий, необходимо верно выбрать конкретные методы, которые не сопровождаются высокими шумовыми либо вибрационными воздействиями. Таковыми являются георадиолокация и сейсморазведка маломощными источниками колебаний.

Использование данных методов не требует свободного пространства для развертывания аппаратуры, и может применяться в условиях плотной городской застройки. Эти методы дают возможность оценить объемное состояние массива грунта, его свойства и строение, определить представительность бурения и сопоставить результаты опробования грунтов и точечных методов. Они обладают также такими преимуществами, как: невысокая стоимость обследования, большая производительность и технологичность.

Георадиолокационный метод основан на излучении импульсов электромагнитных волн и регистрации сигналов, отраженных от различных объектов зондируемой среды. Прибор, с помощью которого производится зондирование, носит название георадар (Рисунок 2). Его основные элементы: импульсный генератор с передающей антенной, приемная антенна и блок управления.



Рисунок 2. Георадар OKO-2.

По принципу функционирования георадары подразделяются:

- стробоскопические георадары;
- слабоимпульсные радары;
- сверхмощные радары с разнесенными антеннами;

В зависимости от числа каналов:

- одноканальные георадары;
- многоканальные парные георадары;

- многоканальные георадары с синтезированной приемной апертурой;

Результатом проведения георадиолокационных исследований является радарограмма. Горизонтальная ось радарограммы — ось профиля (в метрах), вертикальная ось радарограммы — ось времени с началом в момент послышки зондирующего импульса (Рисунок 3).

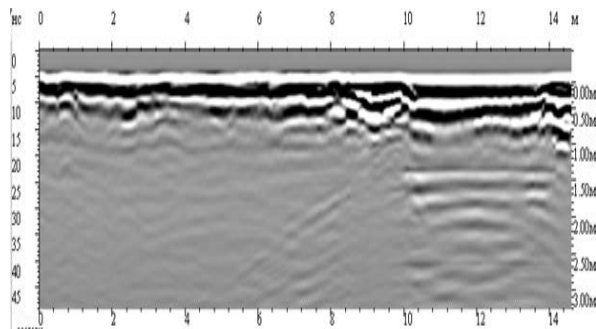


Рисунок 3. Радарограмма.

Сейсморазведка в техническом отношении является наиболее сложным видом геофизических исследований. Это связано с двумя обстоятельствами: в каждой точке наблюдения на профиле необходимо возбуждать достаточно интенсивные колебания, обеспечивающие глубинность разведки, и при каждом положении пункта возбуждения необходимо вести прием упругих волн, как правило, одновременно во многих пунктах наблюдения (от 24 до 96 и более). Сейсмическая аппаратура включает в себя источник упругих волн, сейсмоприемник (устройство обеспечивающее преобразование упругих колебаний в электрические) и

сейсмостанцию (представляет собой многоканальный регистратор, управляющий включением источника и обеспечивающий точный отсчет времени от момента включения до записи колебаний).

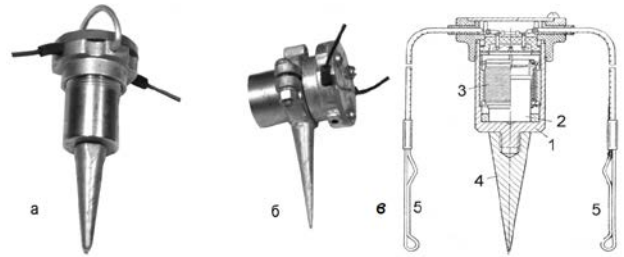


Рисунок 4. Внешний вид и устройство сейсмоприемников: а- вертикального; б- горизонтального; в- устройство вертикального сейсмоприемника: 1- корпус; 2- электромагнит; 3- катушка; 4- штырь; 5- клеммы.

Принцип действия сейсморазведки маломощными источниками колебаний основан на сбросе груза с высоты 6 – 8 метров. Момент касания груза поверхности грунта отмечается специальным устройством и передается как отметка начала возбуждения на сейсмостанцию. Сейсморазведка позволяет оценить физические свойства грунта, которые затем можно подтвердить заверочным бурением.

Использование геофизических методов показано на примере исследований инженерно-геологических параметров территорий комплексного развития расположенной в Ворошиловском районе города Ростова-на-Дону (Рисунок 5).

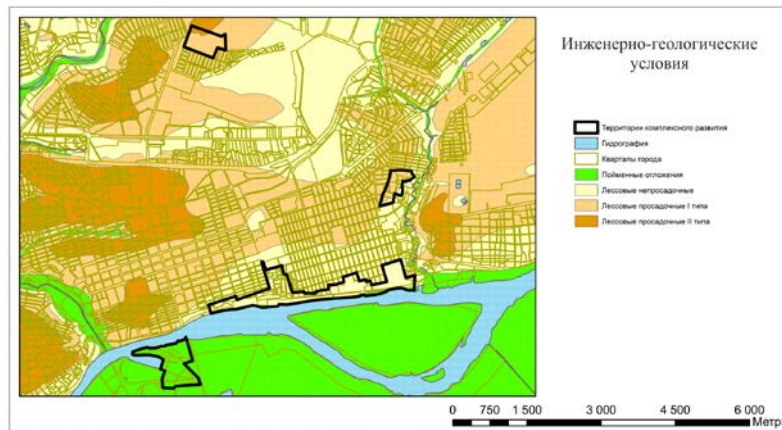


Рисунок 5. Фрагмент карты города Ростова-на-Дону с выделенными территориями.

Отправной точкой для изучения инженерно-геологических условий послужила система ИАС «Геология», выполненная на базе геоинформационной системы ArcGIS. Система включает в себя карту с расположенными на ней скважинами, и информацию по нанесенным скважинам. Таким образом рассматривая

ближайшие к выделенной территории скважины (Рисунок 6), мы получили предварительные данные о имеющихся условиях вблизи границ территории. Далее с привязкой к рассмотренным скважинам был проведен комплекс геофизических исследований.



Рисунок 6. Территория комплексного развития с расположением рассматриваемых скважин.

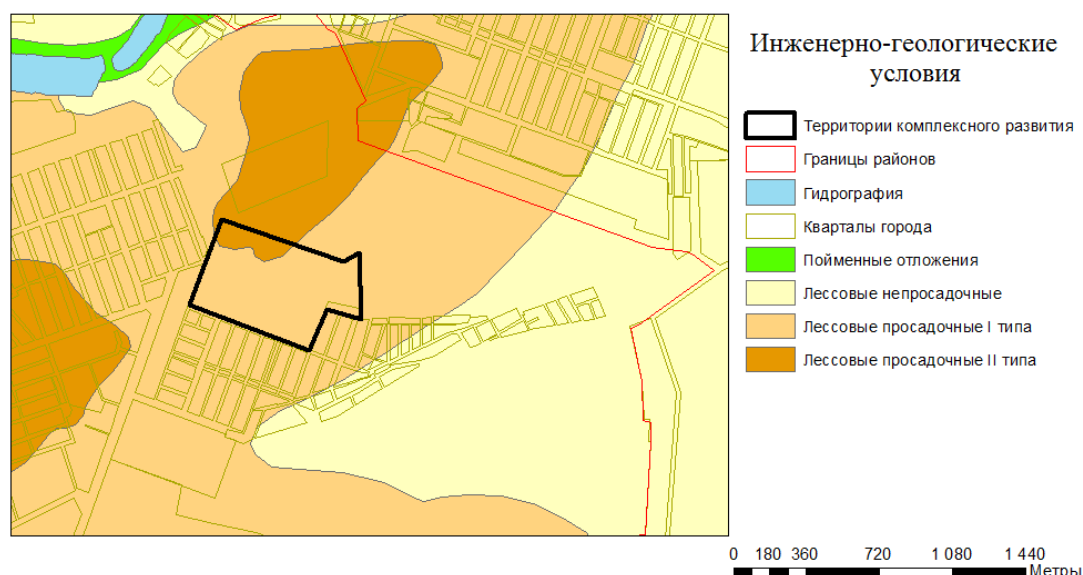


Рисунок 7. Электронная карта территории с расположением различных грунтов.

В результате проведенного исследования с помощью геофизических методов, были уточнены инженерно-геологические условия выбранной территории комплексного развития, определены границы залегания лессовых просадочных грунтов различных типов. После получения уточненных результатов нами была построена геоинформационная электронная карта в среде ArcGIS, которая послужит в дальнейшем основанием для расположения на выбранной территории высотного уникального здания гражданского назначения (Рисунок 7)

## ВЫВОДЫ

Таким образом рассмотренные методы позволяют сократить затраты на проведение инженерно-геологического анализа, повысить скорость и технологичность выполняемых работ, получить более полную информацию о имеющихся инженерно-геологических условиях. Это позволяет наиболее объективно оценить ситуацию, что критично при проектировании оснований и фундаментов уникальных зданий и при их дальнейшей эксплуатации. При этом применение методов не требует подготовки площадки анализа, что удобно в условиях существующей городской застройки.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

**REFERENCES**

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004, N 190-ФЗ (ред.от 29.07.2017). Статья 46.10. Комплексное развитие по инициативе органов местного самоуправления. – ФЗ от 03.07.2016 N 373-ФЗ.
2. СП 11-105-97. Часть I. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ./ Госстрой России, 1998. – 48 с.
3. Методические основы реконструкции городской застройки в зонах оползневой опасности (на примере г. Ростова-на-Дону): Монография. / С.Г. Шеина, А.В. Ищенко - Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2014. – 77 с.
4. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Георадиолокационные исследования верхней части разреза: Учеб. Пособие. – М.: изд. МГУ. – 1999. – 286 с.
5. Дядичев В.В., Колесников А.В., Дядичев А.В., Шишкин А.А. Методы совершенствования информационных систем планирования расположения зданий на городских территориях// Строительство и техногенная безопасность. 2017. No.6. С. 11 – 17.
6. Ананьев В.П., Передельский Л.В. Инженерная геология и гидрогеология: Учебник для вузов. — М.: Высшая школа, 1980. — 271 с.
7. ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация/ ТК 465 «Строительство». – М.: ПНИИИС, 2013. – 37 с.
8. СП 42.13330.2011 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений / Минстрой России – М.: ГП ЦПП 2017 – 94 с.
9. Далматов Б. И. Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии).- 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Стройиздат. –1988. – 415 с.
10. Комплексная оценка территории в градостроительстве: монография / под общ. ред. С.Г. Шеиной. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2015. – 103 с.
11. ArcGIS 10 Редактирование в ArcMap. – USA: ESRI, 2004. – С.464.
12. ArcView GIS: Руководство пользователя. – USA: ESRI, 1996. – С.376.
1. The town-planning code of the Russian Federation of 29.12.2004, N 190-FZ (edition of 29.07.2017). Article 46.10. Integrated development at the initiative of local governments. - FZ of 03.07.2016 N 373-FZ.
2. SP 11-105-97. Part I. Engineering-geological surveys for construction. General rules of work./ Gosstroy Of Russia, 1998. - 48 p.
3. Methodical bases of reconstruction of city building in zones of landslide danger (on the example of Rostov-on-don): Monograph. / S. G. Shein, A. V. Ishchenko - Rostov n/D: Growth. state builds. UN-t, 2014. - 77 p.
4. Vladov M. L., Starovoitov A.V. Georadiolocation studies of the upper part of the incision: Ucheb. Benefit. - M.: ed. Moscow State University. - 1999. - 286 p.
5. Dyadichev V. V., Kolesnikov A.V., Dyadichev A.V., Shishkin A. A. Methods to improve information systems planning the location of buildings in urban areas / Building and technogenic safety. 2017. No.6. S. 11 – 17.
6. Anan'ev V. P., peredel'skii L. V. Engineering Geology and hydrogeology: Textbook for universities. - Moscow: Higher school, 1980. - 271 p.
7. GOST 25100-2011 Soils. Classification / TC 465 "Construction". - Moscow: PNIIS, 2013. - 37 p.
8. SP 42.13330.2011]. Planning and construction of urban and rural settlements / the Ministry of construction of Russia, M.: GP BSC 2017 – 94 p.
9. Dalmatov B. I. soil Mechanics, bases and foundations (including a special course in engineering Geology). 2nd ed. Rev. – L.: Stroyizdat. -1988. - 415 p.
10. Complex assessment of the territory in urban construction: monograph/ under the General editorship of S. G. the Shein. - Rostov n / A: Growth. state builds. UN-t, 2015. - 103 p.
11. ArcGIS 10 Editing in ArcMap. - USA: ESRI, 2004. - C. 464.
12. ArcView GIS: user guide. - USA: ESRI, 1996. - C. 376.

USE OF GEOPHYSICAL METHODS FOR THE ANALYSIS OF ENGINEERING-GEOLOGICAL  
CONDITIONS OF THE TERRITORY OF INTEGRATED DEVELOPMENT

Sheina S.G., Sukhinin A.A., Shevtsova E.R.

**Summary.** On the basis of changes in the legislation of the Russian Federation, the Department of architecture and urban planning of the city of Rostov-on-don allocated territory suitable for their comprehensive development in the process of reconstruction. For the analysis of engineering-geological conditions of the allocated territories use of standard results of researches, in view of their considerable area is insufficient. For the adjusted analysis, the use of geophysical methods of soil investigations: GPR and seismic low-power oscillators.

**Key words:** Complex development, engineering-geological conditions, geophysical research.

УДК 711.68

## БИОПОЗИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, КАК ОСНОВА РАЗВИТИЯ УСТОЙЧИВОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Сидорова В. В., Сорокина Н. А.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)

ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,

295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181,

E-mail: nucikBBC@yandex.ru

E-mail: nadya2-94@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема развития городов в условиях постоянного роста численности населения. Обоснована необходимость применения биопозитивных технологий для устойчивого развития городской среды (в том числе для Республики Крым). Определены принципы биопозитивности на примере анализа мирового опыта внедрения биопозитивных технологий. Проанализированы проекты эко-городов будущего и примеры экологической реставрации существующих городов. Сделан вывод о значении биопозитивных технологий для устойчивого развития городов будущего. Даны рекомендации по их внедрению в общественные пространства крымских городов.

**Ключевые слова:** биопозитивные технологии, устойчивое развитие, городская среда, города будущего, общественные пространства, экология.

### ВВЕДЕНИЕ

С ростом численности населения и с увеличением городов люди стали оказывать все большее влияние природную среду, освобождая озелененные территории для застройки, используя всё больше ресурсов и энергии для своих потребностей. Сейчас в городах и их окрестностях можно наблюдать деградацию ландшафтов, загрязнение воздуха, почвы, образование свалок мусора, нарушение температурного режима и аэрации. Осознавая масштабы произошедших экологических катастроф, а также возможность в будущем еще большего ухудшения экологической ситуации, специалисты со всего мира разрабатывают более экологичные способы организации жизни людей. Такие меры необходимы, прежде всего, для самого человека, так как есть большая вероятность, что при дальнейшем увеличении численности населения и сохранении существующего образа жизни, человечество уничтожит само себя. Дальнейшее развитие городов нуждается в преобразовании с учетом природоохранных мероприятий и внедрения современных биопозитивных технологий. Цель таких преобразований - вернуть природу в города, приблизить человека к ней, а значит сделать городскую жизнь более здоровой и устойчивой. Биопозитивный объект должен

формировать безопасную и благоприятную среду для жизни человека и не нести негативного влияния природной среде.

**Цель исследования** состоит в том, чтобы доказать необходимость внедрения биопозитивных технологий для устойчивого развития городской среды.

Задачи исследования:

- определить принципы биопозитивности;
- проанализировать успешные мировые примеры использования биопозитивных технологий в городах и их влияние на экологию городской среды;
- определить значение биопозитивных технологий и их эффективность для устойчивого развития городов будущего;
- разработать рекомендации и дать прогноз о применении биопозитивных методов и технологиях для общественных пространств городов Республики Крым.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Наиболее подробно проблему развития городов раскрывают работы доктора технических наук Тетиора А. Н. [1,2]. В своих работах он даёт определение понятиям "биопозитивность",

"устойчивое развитие города", описывает принципы и приёмы биопозитивного строительства, делает прогноз будущего преобразования городской среды.

Есаулов Г.В. в своих статьях [3,4] раскрыл понятие «устойчивая архитектура», предложил новое определение устойчивой архитектуры и обозначил принципы ее формирования.

Министерство энергетики РФ также изучает вопросы, связанные с умными технологиями для городов - smart city. Известно, что мегаполисам доступнее весь комплекс технологий для умного города, а небольшим поселениям – только отдельные решения. Мегаполисы в большей степени готовы вкладывать деньги в интеллектуальные системы управления транспортом, ЖКХ, энергетикой и промышленностью. В статье [5] Инюцын А.Ю. указал какие бывают механизмы финансирования по внедрению умных технологий в городскую среду, большое внимание уделил электроэнергетике, городскому освещению, транспорту, информационным системам; дал рекомендации по усовершенствованию нормативно-правового обеспечения.

Дуничкин И.В. и Володина А.В. в статье [6] изложили свое видение развития «зеленой» архитектуры в исторической среде. Рассмотрено направление урбоэкологии, обозначены задачи практического применения архитектурно-строительной экологии, перечислены основные материалы «зеленой» архитектуры, особенности и проблемы экологической реконструкции исторической застройки городов.

Вопросы формирования учреждений отдыха в условиях южного берега Крыма с учетом природоохранных территорий были рассмотрены в статье Нагаевой З.С. и Сидоровой В.В. [7].

Над темой устойчивой среды работают многие зарубежные авторы исследований, среди них: Л. Хенс (Бельгия), Л.Г.Мельник (Украина) [8]. Свой труд они посветили проблеме социально-экономического потенциала устойчивого развития городов.

В статье индийских авторов Krupesh A. Chauhan и Shah N.C. [9] раскрыт потенциал энергоэффективных зданий, которые являются неотъемлемой частью устойчивой городской среды.

Вопрос устойчивого развития городов до 2050 года изучает также профессор, директор

Оксфордского института устойчивого развития Тим Диксон [10].

Принципы и приёмы проектирования комфортной, здоровой городской среды описаны в книге [11] датского архитектора и консультанта по городскому дизайну Яна Гейла.

Опыт экологической реставрации города описан в книге [12] первым премьер-министром Сингапура Ли Куан Ю.

В рамках программы «LIFE + Environment Policy & Governance 2011» были отобраны 113 инновационных проекта в 18 странах (Бельгия, Кипр, Чешская Республика, Дания, Финляндия, Франция, Германия, Греция, Ирландия, Италия, Латвия, Люксембург, Нидерланды, Польша, Словакия, Испания, Швеция и Соединенное Королевство) на сумму инвестиций в размере 258,4 млн. евро. Эти проекты должны продемонстрировать новые методы и методы решения широкого круга экологических проблем Европы. В сборнике [13] дана краткая характеристика каждого проекта.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В исследовании применялись: научный анализ мирового опыта проектирования и строительства эко-поселений, биопозитивных зданий, сооружений; сравнение и выявление наиболее перспективных примеров; анализ новых биопозитивных строительных материалов и конструкций; натурные обследования; фотофиксация. Материалами исследований послужили научные и технические разработки, научные труды и публикации в области биопозитивных технологий и строительных материалов; проекты по созданию эко-поселений, «зелёных» технологий будущего для систем городского планирования.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Термин **"биопозитивность"** впервые применен доктором технических наук Тетиором А. Н.

Биопозитивность зданий и инженерных сооружений - это их способность органично вписываться в природную среду и не быть отторгаемыми экосистемами, не разрушать и не загрязнять природную среду, восстанавливать природу, быть приспособленными (биоадаптивными) для существования живой природы на наружных поверхностях зданий и

внутри объемов сооружений, экономить ресурсы и не требовать для изготовления зданий невозобновляемых ресурсов, не быть преградами на путях потоков веществ и энергии, не выделять не перерабатываемых природной средой загрязнений, создавать высокое качество жизни [1].

В результате анализа теоретических материалов, были выделены основные принципы биопозитивности, которые рассмотрим ниже.

Принцип применения возобновляемых источников энергии.

Энергетические ресурсы в зависимости от источника энергии делятся на возобновляемые, применение которых ведёт к устойчивому развитию, и не возобновляемые. К возобновляемым источникам относятся: энергия солнца, ветра, фотосинтез, гидроэнергия, приливов, волн, геотермальная энергия, процессов испарения и выпадения осадков, тепловая энергия.

Задачами устойчивого энергопотребления являются: ориентация на получение энергии от возобновляемых источников энергии, получение энергии непосредственно в городе, экономия энергии с помощью энергосберегающих технологий.

Для получения энергии от возобновляемых источников в городе предлагается применять установки, совмещаемые со зданиями и сооружениями. Рассмотрим примеры зданий и сооружений с установками по утилизации возобновляемых источников энергии в электричество из мировой практики.

### Энергия ветра

гелиоколлекторы, солнечные станции и адсорберы, которые могут заменять кровельное покрытие или устанавливаться выше кровли, на

экранах лоджий, на стенах зданий, в оконных проемах (селективно прозрачные); ветроколеса;

гидротермальные или геотермальные коллекторы, расположенные в подвальной части или ниже фундамента зданий и сооружений.

Например, ветрогенераторы успешно работают в Бахрейском торговом центре. Он состоит из двух башен, соединенных между собой тремя воздушными мостами. На каждом мосту установлен ветрогенератор. Эта установка вырабатывает суммарную мощность – 675 кВт, что обеспечивает 11-15 % энергии, необходимой зданию.

### Энергия солнца

Самое большое многофункциональное здание, обеспечивающее себя энергией от Солнца, находится в г. Дежоу (Китай). На крыше установлено 5000 м<sup>2</sup> солнечных панелей (рис. 1, слева).

Стадион на 55 тысяч зрителей с солнечными батареями находится в Тайване. Покрытие крыши состоит из 8844 солнечных панелей, обеспечивающих сооружение энергией.

В парке "Сады у залива" в г. Сингапур доминантой являются стальные сооружения "Сверхдеревья" ("Supertree"), имитирующие экологическую функцию деревьев. Фотогальванические элементы утилизируют солнечную энергию так же, как деревья используют фотосинтез. Происходит также сбор дождевой воды для использования в оросительных установках, подобно тому, как деревья поглощают дождевую воду для роста. Таким образом, эти искусственные деревья полностью обеспечивают парк электроэнергией (рис.1, справа).



Рис. 1. Энергия солнца в архитектуре: здание в г. Дежоу (Китай) (слева); сооружения "Сверхдеревья" в Сингапур (справа)

Fig. 1. Solar energy in architecture: building in the city of Dezhou (China) (left); superhighway facilities in Singapore (right)

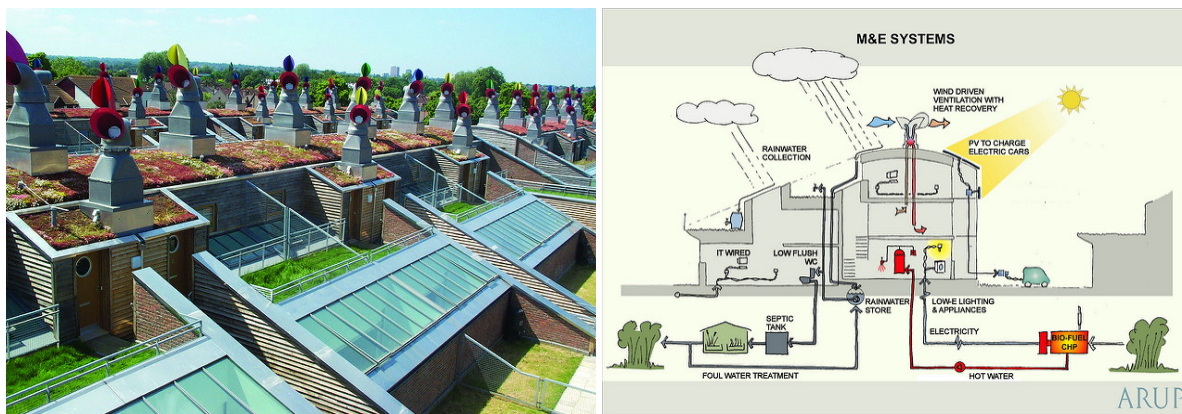


Рис. 2. Здания в британском поселении Bed ZED. Применение солнечной и ветровой энергии

Fig. 2. Buildings in the British settlement Bed ZED use solar and wind energy

### Энергия солнца и ветра

Bed ZED (Beddington Zero Energy Development), расположен в в 15 км от Лондона (Великобритания) - представляет собой квартал из 99 таунхаусов в пригороде Хакбридж (Hackbridge). Здесь применяются различные «зеленые решения» зданий – отличное утепление, сбор дождевой воды, переработка мусора, созданы условия для минимального выброса в атмосферу CO<sub>2</sub>. В проекте исключено использование нефти и газа, а электричество и тепло производят солнечные батареи и сжигание древесных отходов [14]. На крышах установлены приводы вытяжной системы вентиляции, работающие от силы ветра и солнечные батареи, свободные плоскости кровли озеленены (рис. 2).

### Энергия механическая

В Великобритании компания Pavegen Systems Ltd разработала покрытие пола и тротуарную плитку, вырабатывающие электроэнергию от шагов человека. Плиты, изготовленные из переработанной резины и полимерного бетона, имеют в центре светодиод, который загорается, когда кто-нибудь наступает на них. Так человек может увидеть свой небольшой вклад в выработку энергии.

Спортивная площадка "Green heart", вырабатывающая электричество, установлена в английском городе Халл. Тренажеры площадки соединены с генератором, который превращает механическую энергию в ток и заряжает аккумулятор. Счетчики показывают количество

выработанной энергии, которой, по словам местных жителей, хватает на освещение близлежащих улиц [15].

В городах с хорошо организованным общественным транспортом, велосипедным и пешеходным движением значительно снижается энергопотребление и загрязнение окружающей среды. Например в г. Копенгаген (Дания) благодаря развитому велосипедному движению выбросы углекислого газа снижены на 90 000 тонн в год. На преодоление одинакового расстояния среднее энергопотребление для велосипедиста, пешехода и автомобиля составляет 1, 3 и 60 единиц энергии соответственно. Это означает, что затратив одинаковое количество энергии, вы уедете в 3 раза дальше, чем уйдёте пешком [16].

Города, которые стремятся к энергетической независимости и сокращению выбросов углекислого газа, используют установки для утилизации возобновляемых источников энергии и

создают комфортные условия для движения пешеходов и велосипедистов.

### Принцип биопозитивности конструктивных решений сооружений:

Строительство зданий, сооружений и благоустройство территорий в биопозитивном направлении подразумевает их приспособление для существования живой природы, при этом исключается загрязнение природы.

Для развития устойчивой городской среды необходимо стремиться оставлять почвенно-растительный слой вместе с растительностью, а также максимально сохранять естественный рельеф. Такой подход возможен, при использовании надземного и подземного пространства.



Рис. 3. Подземно-надземные музеи: музея Иоанненум (Австрия) (слева); Штеделевский музей (Германия) (справа)

Fig. 3. Underground and above-ground museums: the Ioannenum Museum (Austria) (left); Stedel Museum (Germany) (right)



Рис. 4. Надземные дома: спортивно-оздоровительный центр RELAXX (Словакия) (слева), дом Toda в г. Хиросима (Япония) (справа)

Fig. 4. Overground houses: RELAXX fitness center (Slovakia) (left), Toda house in Hiroshima (Japan) (right)

**Примеры подземных сооружений:** часть музея Лувр в г. Париж (Франция), музея Иоанненум в г. Грац (Австрия), Штеделевского

музея в г. Франкфурт-на-Майне (Германия) (рис. 3), торговый комплекс "Охотный ряд" в г. Москва (Россия), комплекс подземных дорог и парковок

под центром финского города Оулу (Финляндия), крупнейшая в мире система пешеходных тоннелей "PATH" в г. Торонто (Канада).

**Примеры полузаглубленных или обвалованных сооружений:** церковь Темппелиаукио в г. Хельсинки (Финляндия), музей стали в г. Монтеррей (Мексика), здание Музея искусств Нельсона-Аткинса в г. Канзас-сити (США).

**Примеры надземных сооружений:** подвесная железная дорога в г. Вупперталь (Германия), надземный пешеходный переход в форме кольца в центре г. Шанхай (Китай), спортивно-оздоровительный центр RELAXX (Словакия), дом Toda в Хиросиме (Япония) (рис. 4), дом Полнос (Австралия), дом "Жилая единица" в Марселе архитектора Ле Корбюзье (Франция).

Для достижения биопозитивности зданий и сооружений следует применять также **принципы метаболизма и гомеостаза**, внедрять в проекты концепцию «**умный дом**».

Выделим одно из перспективных биопозитивных направлений - арбоархитектура.



Рис. 5. Мосты из корней фикусов возле города Черрапунджи (Индия)

Fig. 5. Bridges of ficus roots near the town of Cherrapunji (India)

Современная арбоархитектура популярна в Германии, где за несколько лет было возведено более 10 тыс. растительных конструкций. Архитектор Фердинанд Людвиг усовершенствовал живые конструкции с помощью металлических строительных лесов и управляемой компьютерной системы лебедок и противовесов. После окончания строительства каркас должен разбираться. Уже 5 лет из задуманных 20 лет он строит сооружение из платанов "Plane-Tree-Cube" в городе Нагольд.

"Живой храм" в Италии сплетен из еловых стволов, брусьев каштана и ореха. По задумке автора (архитектор Джулиано Маури), со временем саженцы должны вырасти, разрушив искусственный каркас, переплестись кронами и образовать живые стены и потолок [18].

Это направление предлагает использовать живые растения как основу строительных конструкций. Растения направляют в нужную сторону и прививанием соединяют в единый живой организм. Так получается структура, которая составляет основу несущей конструкции будущего здания или сооружения. Единственный недостаток создания "живых конструкций" - это длительность процесса строительства.

Примеры арбоархитектуры в мировой практике поражают воображение. Рассмотрим некоторые из них. На северо-востоке Индии возле города Черрапунджи (самого влажного места на Земле) люди создают живые мосты из корней фикусов на протяжении 500 лет (рис. 5). Любые другие подвесные мосты смываются бурными потоками рек в сезон дождей. Когда гибкие и массивные корни отрастают до противоположного берега реки, то их укореняют там, наплывая на огромные валуны, и получают мосты. Такой мост становится год от года все крепче и надежней, ведь корни фикуса продолжают расти и развиваться. Длина некоторых мостов достигает более 30 метров [17].

### Принцип озеленения в архитектуре.

Одним из главных условий здоровой и устойчивой городской среды является возможность существования растений и животных в пределах освоенной человеком территории. Новые места расселения людей в будущем должны быть интегрированы в природное окружение, а в существующих городах следует вернуть природе пространства для жизни растений и животных.

Одно из направлений развития биопозитивных технологий - это поиск способов выращивания растений на поверхностях сооружений, что позволит увеличить площадь зеленых насаждений в городе. Эти меры способствуют очищению от загрязнений воды и воздуха, улучшению микроклимата в помещениях, звуковой и тепловой

защиты, улучшению внешнего вида сооружений. Для этого проводятся мероприятия по архофитомелиорации, то есть создаются условия для роста растений, закрепленных на вертикальных, горизонтальных и наклонных поверхностях.

Давно известен приём озеленения крыш зданий. Для этого требуется разместить на крыше грунт, дренаж, систему полива, слой гидроизоляции и высадить растения. Озеленение крыш можно разделить на интенсивное и экстенсивное в зависимости от объема почвы, ухода, и последующей эксплуатации. Примеры: сад на крыше офисного здания "Poultry" в г. Лондон, кампус Наньянского технологического университета в Сингапуре, бизнес-центр "Crowne Plaza" в комплексе зданий аэропорта «Пулково» в Санкт-Петербурге и многие другие. Озеленять можно также поверхности заброшенных сооружений в ходе реновации территории. Например, в Нью-Йорке создан линейный парк Хай-Лайн на месте бывшей надземной железной дороги, расположенной на высоте 10 метров.

Успешный приём озеленения "Вертикальные сады" позволяет выращивать растения на стенах сооружений без использования ёмкостей с грунтом. **"Вертикальные сады"** - это система биологического декора, изобретенная французским

дизайнером-натуралистом Патриком Бланком. К фасаду здания монтируется металлическая рама с

тонким настилом полимерного войлока с капиллярной структурой, по которой поднимается влага и минералы. В войлок высаживаются семена и саженцы растений. Благодаря разработанной Патриком Бланком системе высотного орошения, вес одного квадратного метра не превышает 30 кг, а толщина зеленого покрытия - всего нескольких сантиметров [19].

Примеры вертикальных садов Патрика Бланка: оформление музея Ке Бренли в Париже (рис. 6 слева), мост во Франции Pont Max JuvenaI, входной павильон станции метро Авлабари в г. Тбилиси (Грузия).

Самый большой вертикальный сад площадью 1 263 м<sup>2</sup> находится в г. Милан (Италия), обустроенный на фасадах торгового центра Fiordaliso Shopping Center (архитектор Ф. Боллани). Сад представляет собой конструктор из небольших металлических контейнеров с высаженными в них растениями. Вертикальный сад помогает регулировать температуру внутри здания, уменьшая поступление прямого солнечного света. Это свойство сада экономит потребление энергии. Также сад адсорбирует углекислый газ из помещений и сводит внешнее шумовое загрязнение к минимуму [20].



Рис. 6. Вертикальные сады: на фасаде музея Ке Бренли в г. Париж (слева); цветущая стена в г. Милан (справа)

Fig. 6. Vertical gardens: on the façade of the museum of Ben Brunley in Paris (on the left); flowering wall in Milan (right)

Серьезной проблемой в современном городе становится уничтожение почвенного покрова при устройстве дорог, тротуаров и площадок. Концепция устойчивого города предполагает, что твердое покрытие в городе не должно нарушать естественный круговорот вещей. Следует применять такие покрытия, которые будут проницаемы для воды и воздуха, с возможностью роста травы под ними. Этому требованию отвечают современные экологические парковки,

укрепленные газонной решёткой для защиты корневой системы растений.

Отдельным вопросом рассмотрения является *сохранение среды обитания животных, птиц* в урбанизированной среде. Что касается животных, то для них, как правило, в местах расселения человека не остаётся места. Многие люди выступают за биологическую справедливость и гуманное отношение к животным, создают

организации помощи бездомным животным и защищают их права. В городах создаются приюты для домашних животных. Для диких животных создаются зеленые коридоры для свободной миграции, где животные не подвергаются опасности от людей и машин. В местах пересечения с транспортными магистралями пути миграции проходят над или под дорогами. Такие

сооружения впервые были построены во Франции в 1950-х годах и носят название **экодуки**. Например, в Австралии есть мост для миграции красных крабов. Первый в России экодук построен в 2016 году в Калужской области (рис. 7).

Мероприятия по обеспечению безопасности животных способствуют сохранению видового разнообразия и восстановлению популяций.



Рис. 7. Экодуки: в России (вверху), в Европе (внизу)

Fig. 7. Ecoduki: in Russia (above), in Europe (below)

Города, в которых достаточная площадь зелёных насаждений, имеют более чистый воздух и водные ресурсы. Важно увеличение площади озеленения и наличие зеленого пояса вокруг города. Массивы деревьев не дают влаге испаряться и способствуют накоплению грунтовых вод.

### Принцип применения биопозитивных материалов.

Биопозитивные материалы - это материалы из возобновляемых природных ресурсов, не загрязняющих природную среду при их изготовлении, не оказывающие вредного воздействия на человека, а также требующие минимальных затрат энергии при изготовлении. Они могут повторно использоваться или полностью разлагаться после выполнения функций подобно материалам живой природы.

Условнобиопозитивные материалы подразделяются на: природные/местные (глина, грунт, гипс, набрызг, биомассы); естественно-возобновляемые материалы (дерево, солома, тростник, продукты жизнедеятельности животных);

искусственно-возобновляемые (переработанное дерево, посадки деревьев в качестве колонн, наращивание кальциевых стен на металлической сетке в морской воде); материально-рециклируемые (частично бетон и кирпич, стекло, вторичный алюминий, макулатура, переработанная древесина); конструктивно-рециклируемые (повторное использование старых конструкций или их элементов).

Для внутренней отделки применяются следующие биопозитивные материалы: бамбук, солома, шерсть, войлок, кожа, пробка, хлопок, песок, камни, шелк, натуральные - олифа, каучук, клей и др. [1].

Существующие материалы должны совершенствоваться в направлении биопозитивности. Рекомендуется применение рециклируемых материалов, сокращение материалоемкости, повышение их долговечности. А во-вторых, создание новых материалов с заданными свойствами и биоподобных материалов, которые могли бы подпитываться энергией и самостоятельно расти или регенерировать.

Самым популярным строительным материалом в городах можно назвать бетон. Интересны разработки ученых по *приданию бетону биопозитивных свойств*. Так например, ученые политехнического института Барселоны предложили использовать органический бетон, способствующий развитию мха и лишайника. Эта разработка является альтернативой вертикальных садов, требующих специальных поддерживающих структур. Для получения бетона с такими свойствами, ученые заменили вяжущее вещество портландцемент, фосфатом магния, который скрепляет бетон и подкисляет среду, что делает материал пригодным для выращивания некоторых растений. Верхний слой бетона задерживает дождевую воду, а средний влагостойкий слой препятствует проникновению влаги внутрь стен и их разрушению.

Еще один пример биопозитивного совершенствования бетона представила команда ученых из голландского университета Delft Technical University. Материал биобетон обладает свойством самовосстановления, так как может затягивать трещины при помощи живущих в нём бактерий *Vacculus*. Ученые добавили в бетон микроорганизмы и крошечные капсулы с лактатом кальция, которые служат им источником питания. При добавлении воды происходит химическая реакция, во время которой образуется известняк и заполняет все микротрещины. Первым прототипом, построенным с использованием самовосстанавливающего бетона, стала спасательная станция на берегу озера в Голландии [21].

Важное направление биопозитивного совершенствования материалов - применение рециклируемых материалов с многократным использованием ресурсов в строительстве. Для приближения строительных материалов к природным малоотходным технологиям необходимо делать замкнутые круговые циклы в отличие от существующих незамкнутых. Подобно природным экоциклам, биопозитивные материалы должны двигаться по замкнутому кругу, где объемы производства, потребления и деградации почти равны объемам восстановления. Например, в Колумбии создана компания "Plastic Concepts", строящая дома для бездомных из переработанного пластика и резины, спрессованных в блоки. А изношенные покрышки сейчас являются основным сырьём для получения резиновой крошки, из которой делается мягкое покрытие детских площадок. В России на заводе "Уралтермопласт" в г. Арамиле изготавливают малые архитектурные

формы для парков, садов и детских площадок из переработанного пластика, поступающего с мусороперерабатывающего завода. Также из пластиковых отходов изготавливаются газонные решетки для экопарковок.

По-настоящему биопозитивных материалов, способных приблизить сооружения к природным объектам, на данный момент мало, они пока находятся в разработке, и в строительстве широко не применяются.

### **Результат и перспективы применения биопозитивных технологий в городах.**

Старая, привычная нам модель развития городов «человек-потребитель» в будущем обречена, так как порождает саморазрушение, истощение и гибель. Города будущего должны быть эко-устойчивыми. Только применяя биопозитивные принципы и технологии в городах, можно сформировать среду, в которой будут жить здоровые поколения.

На сегодняшний день биопозитивные технологии дороги и требуют обширных знаний специалистов для внедрения их в городскую среду. Поэтому опыт и положительный эффект их применения можно рассмотреть в основном на примере экономически развитых стран, которые ощущают нехватку полезных ископаемых и ориентированы на экологизацию своей жизни. За десятки лет работы над преобразованием городского образа жизни стал виден положительный результат усилий. Например столица Дании г. Копенгаген дважды удостоивался звания самого зеленого города мира, а также носит титул "зеленой европейской столицы", который присуждает Евросоюз [22].

Попытки создания эко-городов уже сделаны. И это первые шаги человечества на пути к оздоровлению городской среды. Ниже приведены примеры наиболее успешных результатов, которые могут быть применены на практике в городах Республики Крым.

Ярким примером экологической реставрации городов можно назвать опыт Сингапура, который называют самым зеленым городом мира. Согласно данным сайта Treepedia - 30 % площади Сингапура покрыто озеленением. Основная заслуга в преобразении города принадлежит Ли Куан Ю - первому премьер-министру Республики Сингапур (1959—1990).

"Одной из главных причин, побуждавших содержать Сингапура в чистоте, была

настоятельная потребность собирать и максимально сохранять воду... Я решил создать в правительстве Отдел по борьбе с загрязнением окружающей среды. Мы установили на оживленных автодорогах контрольное оборудование для измерения концентрации пыли, плотности дыма, содержания двуокиси серы, выбрасываемых автомобилями... Я понял, что мы нуждались в специальном органе, который занимался бы сохранением зеленых насаждений, и создал такой департамент в Министерстве национального развития (Ministry of national development)... Мы высадили миллионы деревьев, пальм и кустов. Озеленение подняло мораль людей и позволило им гордиться городом, в котором они жили... [12]" - Ли Куан Ю.

Благодаря подобным мероприятиям, Сингапур развивается быстро и устойчиво, а загрязнения сведены к минимуму. Поэтому люди охотно приезжают работать и жить в Сингапур.

Ещё один пример эко-реконструкции - шведский город Мальме. Раньше он был загрязненным промышленным центром с атомными электростанциями. Однако в 2000 году городские власти закрыли вредные производства и пообещали сделать Мальме углеродно-нейтральным к 2020 году, и способным работать на полностью возобновляемые источники энергии к 2030 году. Весь городской парк транспортных средств города переводится на альтернативное топливо — водород, электричество или биогаз из собираемых пищевых отходов [24].

О важности применения биопозитивных технологий свидетельствует внимание к ним богатых нефтедобывающих стран Ближнего Востока. Не смотря на то, что Объединенные Арабские Эмираты обладают почти десятой частью мировых запасов нефти, уже сейчас ведется поиск и внедрение стратегий выживания в мире, где не будет нефти. Уже начато строительство первого в мире эко-города будущего в ОАЭ под названием Масдар. Город будет обеспечивать себя солнечной энергией и другими возобновляемыми источниками энергии. Выбросы углекислого газа в атмосферу будут минимальны, а все отходы городской деятельности будут подвергаться полной переработке.

Также уже опробирована концепция "умный город", призывающая сделать управление городом более рациональным с помощью смарт-технологий, камер и датчиков. Например, для экономии ресурсов в городах создаются системы интеллектуального освещения, контроля движения

транспорта и т.п. Один из крупнейших проектов умных городов — строящаяся с 2003 года международная экономическая зона Сонгдо в Южной Корее. Инфраструктура города основана на сетевых технологиях, объединяющих все эксплуатационные системы в единое целое. Таким образом, жители могут управлять своей средой обитания [25]. В городе будет особая система сбора отходов: пневматические мусоропроводы будут высасывать и сортировать мусор.

### **Значение биопозитивных технологий для устойчивого развития городов будущего.**

Экспериментальные эко-районы в разных странах (Парк инноваций, квартал Bed ZED (Beddington Zero Energy Development) в Лондоне (Великобритания), эко-кварталы в Швейцарии, экспериментальный район Viikki в Финляндии и эко-район Вобан в Германии) — это реальная площадка для «зеленого» строительства и изучения значения и эффективности новых эко-технологий.

Ожидается, что города будущего будут еще более густо населены, так как население планеты постоянно растёт. По данным организации ООН к 2050 году городское население составит 70 % от всего населения Земли. Это значит, что проблемы транспорта, нагрузка на инфраструктуру и коммуникации городов, загрязнения окружающей среды будут увеличиваться. Устойчивое развитие городов в таких условиях возможно только с использованием биопозитивных технологий.

На развитие биопозитивных технологий, в частности на получение энергии от возобновляемых источников энергии, должно обратить внимание Правительство Российской Федерации. Россия экспортирует в основном углеводородное сырьё (нефть и нефтепродукты, газ, уголь). Многие страны планируют полностью перейти на возобновляемые источники энергии и перестать покупать углеводородное сырьё. Когда это произойдёт, РФ лишится основного источника доходов. Для предотвращения экономического, а также экологического кризиса наша страна может взять пример с Объединённых Арабских Эмиратов и вкладывать прибыль от продажи углеводородов в биопозитивные технологии. Так в будущем Российская Федерация сможет решить внутренние проблемы деградации городской среды и стать экспортёром новых технологий устойчивого развития.

Необходимо отметить высокий потенциал развития эко-технологий на территории

Республики Крым. Как и другие территории регион нуждается в экологическом преобразовании своей градостроительной среды. Примеры внедрения принципов биопозитивности в Крыму единичны. Это применение солнечных панелей в отдельных частных жилых зданиях. В настоящее время в Крыму действуют пять из шести солнечных электростанций («Перово» 105,56 МВт, Охотниково» 82,65 МВт, «Николаевка» 69,7 МВт, «Митяево» 31,55 МВт, «Родниковое» 7,5 МВт); шесть государственных ветроэлектростанций (Останинская ВЭС (Водэнергоремналадка) 25,0 МВт, Сакская ВЭС 19 МВт — представлена двумя участками: Мирновским и Воробьевским; Тарханкутская ВЭС 15,9 МВт, Донузлавская ВЭС 10,9 МВт, Судакская ВЭС 6,3 МВт, Пресноводненская ВЭС 6 МВт, Восточно-Крымская ВЭС 2,8 МВт) [23].

Рекомендуется использовать приёмы биопозитивности в строительстве зданий и сооружений. Ведь при этом снижается антропогенная нагрузка на среду, сохраняются ландшафты, флора и фауна, естественные потоки поверхностных и грунтовых вод.

## ВЫВОДЫ

Человечество постоянно ищет способы сделать свою жизнь комфортнее, безопаснее, длиннее. Это приводит к перенаселению, экологическим катастрофам от антропогенной нагрузки, разрушению экосистем и деградации как природной среды, так и урбанизированной.

Анализируя причины существующего неустойчивого развития городов, люди стали искать способы, чтобы сделать жизнь не только комфортной, но рациональной и справедливой по отношению к природе. Один из способов устранения разрушающих природу и сам город воздействий - использование биопозитивных технологий. Многочисленные примеры из мирового опыта доказывают их эффективность и положительный эффект. Для широкого распространения биопозитивных технологий необходимо снижать их стоимость, делая доступными для всех городов. Понятие «умный город», компоненты его наполнения, архитектура, нормы оплаты и поощрения за умные технологии – все это должно быть прописано в современном законодательстве. Потребуется масштабные вложения средств: в науку, обучение специалистов, покупку технологий и оборудования для массового производства биопозитивных конструкций и материалов. Но цель - экологическая реставрация

городов - достойна вложения больших средств и усилий.

В условиях ограниченных пресных водных ресурсов, электроэнергии Республики Крым - приоритетом становится внедрение водо- и энергосберегающих технологий, а также повсеместное применение возобновляемых источников энергии (для Крыма - солнце, ветер, море, волны, недра). Это позволит полуострову быть автономным, независимым от Украины и материковой России.

Биопозитивность в широком смысле может быть «обыграна» эстетической привлекательностью и неповторимостью объектов, для Крыма это актуально для привлечения туристов. В этом смысле большое значение имеют общественные пространства городов. Они формируют удобство, комфорт, индивидуальность городской среды. Великое многообразие архитектурных образов может быть дополнено современными элементами биопозитивности. При плановой реконструкции городов эти рекомендации следует учитывать, изначально закладывать в проект и в смету биопозитивные материалы, приемы, технологии, рассмотренные в данной статье. Такие проектные решения в разы дороже, однако окупаются уже через 3-5 лет за счет экономии электроэнергии, повышения качества жизни населения. В статье [26] предложены пути решения основных проблем организации внутриворонных пространств многоэтажной жилой застройки, даны рекомендации по реконструкции, благоустройству и дальнейшему уходу за территорией общего двора для внедрения в практику г.Симферополя. Авторы продолжают работу над исследованиями. Планируется разработать экспериментальные модели реконструкции других общественных пространств (площадей, скверов, парков, пешеходных улиц) г.Симферополя с учетом внедрения биопозитивных технологий.

Устойчиво развиваться в будущем смогут поселения, в которых люди стремятся к гармонии с природой. При этом необходимо сформировать новые привычки жизни у населения и обеспечить поощрение экологически устойчивого образа жизни со стороны руководства городов, стран в целом.

Обобщая результаты, можно с уверенностью констатировать тот факт, что устойчивый город будущего будет работать по принципам биопозитивности, рассмотренных в данном

исследовании. Это доказывают уже реализованные примеры из мирового опыта.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тетиор А.Н. Устойчивое развитие. Устойчивое проектирование и строительство. М.: Природа, 1998. 450 с.
2. Тетиор А.Н. Архитектурно-строительная экология. М.: Академия, 2008. 368 с.
3. Есаулов, Г.В. Устойчивая архитектура как проектная парадигма (к вопросу определения) / Г.В. Есаулов // Устойчивая архитектура: настоящее и будущее: тр. Международного симпозиума. 17–18 ноября 2011 г. Научные труды Московского архитектурного института (государственной академии) и группы КНАУФ СНГ. – М., 2012. С. 76–79.
4. Есаулов, Г.В. Устойчивая архитектура – от принципов к стратегии развития / Г.В. Есаулов // Вестник ТГАСУ № 6, 2014. С. 9–24.
5. Инюцын А.Ю. Умные технологии стали доступнее для городов / А.Ю. Инюцын // Практика муниципального управления. 2017. № 2. С. 46-55 [Электронный ресурс]. - Режим доступа <https://minenergo.gov.ru/node/7195> (дата обращения: 19.02.2018).
6. Дуничкин И.В. Экологическая регенерация застройки исторической среды / И.В. Дуничкин, А.В. Володина // Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 3. С. 48-50. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15625059> (дата обращения: 19.02.2018).
7. Особенности формирования учреждений отдыха в условиях ЮБК с учетом природоохранных требований / З.С.Нагаева, В.В.Сидорова // Досвід та перспективи розвитку міст України. Проблеми розвитку прибережних територій: збірник наукових праць / Відпов. ред. Ю.М.Палеха. - К.: Діпромісто. - 2009. - Вип. 17 - С. 69-75
8. Social and Economic Potential of Sustainable Development / Edited by L. Hens and L. Melnyk – Sumy: “University Book”, 2008. – 320 p.
9. Krupesh A. Chauhan and Shah N.C. A Study on Sustainable Urban Environment with Climatic Consideration in Housing Planning. Global Journal of Environmental Research 2 (1): 12-17, 2008, p.12-17 [http://www.idosi.org/gjer/gjer2\(1\)08/2.pdf](http://www.idosi.org/gjer/gjer2(1)08/2.pdf)
10. Tim Dixon. Sustainable Urban Development to 2050: Complex Transitions in the Built Environment of Cities. Oxford Institute for Sustainable Development, Oxford Brookes University/ Retrofit 2050 Working Paper. October 2011. - 32p. Режим доступа: <http://www.retrofit2050.org.uk/sites/default/files/resources/WP20115.pdf> (дата обращения: 19.02.2018).
11. Ян Гейл. Города для людей. Изд. на русском языке. Концерн "КРОСТ", пер. с англ. М.: Альпина Паблишер, 2012. 276 с.
12. Ли Куан Ю. Сингапурская история. Из "третьего мира" – в "первый". — М.: МГИМО (У) МИД России, 2005. 576 с.
13. LIFE Publication / Environment Policy & Governance – Projects 2011. - 122 p. Режим доступа: <http://ec.europa.eu/environment/life/publications/lifepublications/compilations/documents/envcompilation11.pdf> (дата обращения: 19.02.2018).
14. Экспериментальные эко-районы. BedZED, Лондон. 07 November 2012 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://cheaptrip.livejournal.com/23386860.html> (дата обращения: 19.02.2018).
15. Диденко Н. Спортплощадки научились генерировать электричество [http://vesti.kz/sport\\_facilities/160883/?newdesign](http://vesti.kz/sport_facilities/160883/?newdesign) [Электронный ресурс]. - Режим доступа (дата обращения: 19.02.2018).
16. Котова Е.В., Скрипкина А.О. Биопозитивность зданий и архофитомелиорация как современные тенденции в архитектуре // Молодежный научный форум: Технические и математические науки: электр. сб. ст. по мат. III междунар. студ. науч.-практ. конф. № 3(3). Режим доступа: [https://nauchforum.ru/archive/MNF\\_social/3.pdf](https://nauchforum.ru/archive/MNF_social/3.pdf)
17. Живые мосты штата Мегхалая и Черапунджи [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://indiada.ru/attraction/zhivye-mosty-indii.html> (дата обращения: 05.02.2018).
18. Встреча с Богом среди деревьев: уникальный Живой храм в Италии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kulturologia.ru/blogs/041214/22418/> (дата обращения: 05.02.2018).
19. Вертикальные сады от Патрика Блана [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.stepandstep.ru/catalog/your-city/145446/vertikalnye--sady-ot-patrika-blana.html> (дата обращения: 05.02.2018).
20. Самый большой вертикальный сад [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.krasfun.ru/2012/10/samyj-bolsjoj-vertikalnyj-sad/>
21. Технологии будущего: биобетон сможет сам восстанавливать микротрещины на поверхности [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.novate.ru/blogs/200515/31343/> (дата обращения: 05.02.2018).

22. Копенгаген: мечты зеленого города [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.geo.ru/puteshestviya/kopengagen-mechty-zelenogo-goroda> (дата обращения: 05.02.2018).
23. Крым располагает высоким потенциалом развития альтернативных источников энергии. Официальный сайт Министерства топлива и энергетики Республики Крым. Раздел новости [Электронный ресурс]. – URL: <http://mtop.rk.gov.ru/rus/index.htm/news/300719.htm> (дата обращения: 20.02.2018).
24. Экологическая регенерация застройки исторической среды. Промышленное и гражданское строительство. Москва. № 3. 2011. С. 48-50. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15625059>
25. Города будущего: 4 "умных" города, в которых уже живут люди [Электронный ресурс]. – URL: <https://rb.ru/story/future-city/> (дата обращения: 05.02.2018).
26. 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)
3. pp. 48-50. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15625059>
7. Nagaeva Z.S., Sidorova V.V. Features of the formation of recreational facilities in the context of the South Coast of Crimea, taking into account environmental requirements // *Dosvid ta perspektivi rozvitku mist Ukraïni. Problemi rozvitku priberezhnikh teritorii: zbirnik naukovikh prats'*. K.: Dipromisto. 2009. № 17. pp. 69-75.
8. Social and Economic Potential of Sustainable Development / Edited by L. Hens and L. Melnyk – Sumy: “University Book”, 2008. – 320 p. (in English)
9. Krupesh A. Chauhan and Shah N.C. A Study on Sustainable Urban Environment with Climatic Consideration in Housing Planning // *Global Journal of Environmental Research* 2 (1): 12-17, 2008, p.12-17 URL: [http://www.idosi.org/gjer/gjer2\(1\)08/2.pdf](http://www.idosi.org/gjer/gjer2(1)08/2.pdf) (in English)
10. Tim Dixon. Sustainable Urban Development to 2050: Complex Transitions in the Built Environment of Cities. Oxford Institute for Sustainable Development, Oxford Brookes University/ Retrofit 2050 Working Paper. October 2011. - 32p. URL: <http://www.retrofit2050.org.uk/sites/default/files/resources/WP20115.pdf> (in English)
11. Yan Geil. Goroda dlya lyudei [Cities for people] Kontsem "KROST", per. s angl. M.: Alpina Publisher, 2012. 276 p. (In Russian)
12. Li Kuan Yu. Singapurskaya istoriya. Iz "tret'ego mira" – v "pervyi" [The Singapore story. From the "third world" - to the "first"]. M.: MGIMO (U) MID Rossii, 2005. 576 p.
13. LIFE Publication / Environment Policy & Governance – Projects 2011. - 122 p. URL: <http://ec.europa.eu/environment/life/publications/lifepublications/compilations/documents/envcollection11.pdf> (in English)
14. Experimental eco-regions. BedZED, London. 07 November 2012. URL: <https://cheaptrip.livejournal.com/23386860.html> (In Russian)
15. Didenko N. Playgrounds have learned to generate electricity [http://vesti.kz/sport\\_facilities/160883/?newdesign](http://vesti.kz/sport_facilities/160883/?newdesign) (In Russian)
16. Kotova E.V., Skripkina A.O. Biopozitivity of buildings and arkhofitomelioratsiya as modern trends in architecture // *Molodezhnyi nauchnyi forum: Tekhnicheskie i matematicheskie nauki: elektr. sb. st. po mat. III mezhdunar. stud. nauch.-prakt. konf. № 3(3)*. URL: [https://nauchforum.ru/archive/MNF\\_social/3.pdf](https://nauchforum.ru/archive/MNF_social/3.pdf)
17. The living bridges of the state of Meghalaya and Cherrapunji. URL:

## REFERENCES

1. Tetior A.N. Ustoichivoe razvitie. Ustoichivoe proektirovanie i stroitel'stvo [Sustainable development. Sustainable design and construction.]. M: Priroda, 1998. 450 p. (In Russian)
2. Tetior A.N. Arkhitekturno-stroitel'naya ekologiya [Architectural and building ecology]. M.: Akademiya, 2008. 368 p. (In Russian)
3. Esaulov, G.V. Sustainable architecture as a project paradigm (to the issue of definition) // *Ustoichivaya arkhitektura: nastoyashchee i budushchee: tr. Mezhdunarodnogo simpoziuma. 2011 Nauchnye trudy Moskovskogo arkhitekturnogo instituta (gosudarstvennoi akademii) i gruppy KNAUF SNG. – M., 2012. pp. 76–79.*
4. Esaulov, G.V. Sustainable architecture - from principles to development strategies // *Vestnik TGASU № 6, 2014. pp. 9–24.*
5. Inyutsyn A.Yu. Smart technologies have become more accessible for cities. <https://minenergo.gov.ru/node/7195>
6. Dunichkin I.V. Ecological regeneration of the development of the historical environment // *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2011. №*

<https://indiada.ru/attraction/zhivye-mosty-indii.html> (In Russian)

18. Meeting with God among the trees: the unique Living Temple in Italy. URL: <https://kulturologia.ru/blogs/041214/22418> (In Russian)

19. Vertical gardens from Patrick Blanc. URL: <http://www.stepandstep.ru/catalog/your-city/145446/vertikalnye--sady-ot-patrika-blanc> (In Russian)

20. The largest vertical garden. URL: <http://www.krasfun.ru/2012/10/samyj-bolshoj-vertikalnyj-sad/> (In Russian)

21. Technologies of the future: the biobeton will be able to restore microcracks on the surface. URL: <http://www.novate.ru/blogs/200515/31343> (In Russian)

22. Copenhagen: the dreams of a green city. URL: <http://www.geo.ru/puteshestviya/kopengagen-mechty-zelenogo-goroda> (data obrashcheniya: 05.02.2018). (In Russian)

23. Crimea has a high potential for the development of alternative energy sources. Ofitsial'nyi

sait Ministerstva topliva i energetiki Respubliki Krym. Razdel novosti. URL: <http://mtop.rk.gov.ru/rus/index.htm/news/300719.htm> (data obrashcheniya: 20.02.2018).

24. Ecological regeneration of the development of the historical environment // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. Moskva. № 3. 2011. p. 48-50. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15625059> (In Russian)

25. Cities of the future: 4 "smart" cities, in which people already live. URL: <https://rb.ru/story/future-city/> (In Russian)

26. Sidorova V.V., Chubova O.L. Comprehensive approach to the reconstruction of courtyard spaces of multi-storey residential buildings of the 1970-90s of the 20th century // Architecture and Modern Information Technologies. 2017. №3(40). pp. 200-214. URL:

[http://marhi.ru/AMIT/2017/3kvart17/15\\_sidorova-chubova/index.php](http://marhi.ru/AMIT/2017/3kvart17/15_sidorova-chubova/index.php) (In Russian) **BIOPOSITIVITY**

## TECHNOLOGY AS A BASIS FOR THE DEVELOPMENT OF A SUSTAINABLE URBAN ENVIRONMENT

Sidorova V. V., Sorokina N. A.

**SUMMARY** The article deals with the problem of urban development in conditions of constant population growth. The necessity of application of biopositive technologies for sustainable development of urban environment (including for the Republic of Crimea) is grounded. The principles of biopositivity are determined on the basis of the analysis of the world experience in the introduction of biopositive technologies. Projects of eco-cities of the future and examples of ecological restoration of existing cities are analyzed. A conclusion is made about the importance of biopositive technologies for the sustainable development of future cities. Recommendations are given on their introduction into public spaces of the Crimean cities.

**Keywords:** biopositive technologies, sustainable development, urban environment, cities of the future, public spaces, ecology.

УДК 7.05+004

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПОДГОТОВКЕ ДИЗАЙНЕРОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В.Н. Гузненков, П.А. Журбенко

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

(национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

vn@bmstu.ru; [wln83@mail.ru](mailto:wln83@mail.ru)

**Аннотация.** В статье описана подготовка бакалавров и магистров – дизайнеров промышленности в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Отмечено, что система подготовки специалистов в области промышленного дизайна включает классическую инженерно-техническую подготовку и специальные дисциплины. В обучении используются методы проведения занятий с использованием информационных технологий на базе современных технических средств. Студенты принимают участие в совместных разработках с выпускающими кафедрами и выполняют реальные заказы промышленности. Показано, что кафедра «Промышленный дизайн» – молодое структурное подразделение МГТУ им. Н.Э. Баумана, но уже имеющее свою историю.

**Ключевые слова:** высшее образование, информационные технологии, промышленный дизайн, учебный план.

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет) (МГТУ им. Н.Э. Баумана) готовит специалистов практически по всему спектру техники и технологий – от космических исследований до подводных роботов. Практика производства и строительства, а также мировой опыт показывают, что для создания конкурентоспособной продукции необходима совместная работа не только конструкторов и технологов, архитекторов и строителей, но и дизайнеров. В начале этого века в МГТУ им. Н.Э. Баумана было принято решение готовить специалистов в области промышленного дизайна. Созданию кафедры предшествовала большая организационная работа, выполненная энтузиастами своего дела, членами Союза дизайнеров России М.М. Михеевой и А.С. Синельниковым при благосклонном внимании декана факультета «Машиностроительные технологии» д.т.н., профессора А.Г. Колесникова. Необходимо было разработать учебный план, программы отдельных дисциплин [1 – 4], определиться с преподавательским составом и все это увязать с традициями и технологией обучения в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В 2010 г. была создана кафедра «Промышленный дизайн» (МТ-9) на факультете «Машиностроительные технологии» (МТ) МГТУ им. Н.Э. Баумана. Главная задача кафедры – реализация качественной системы подготовки специалистов в области промышленного дизайна,

интегрированной в классическую систему инженерно-технической подготовки в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Программа обучения обеспечивает подготовку выпускников к самостоятельной профессиональной художественной и проектно-конструкторской деятельности. Студенты в процессе обучения овладевают техникой рисунка и композиции, изучают современные компьютерные методы визуализации объектов, методы и принципы системного дизайн-проектирования и дизайн-исследований. Изучение этих и многих других дисциплин специальности сочетается с освоением классических инженерно-технических дисциплин [5].

В соответствии с современными Федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования кафедра «Промышленный дизайн» готовит бакалавров по профилю 54.03.01\_01-Промышленный дизайн по направлению подготовки 54.03.01-Дизайн и магистров по магистерской программе 54.04.01\_09-Промышленный дизайн по направлению подготовки 54.04.01-Дизайн. Набор абитуриентов осуществляется как на бюджетные места, так и на платной основе. Вступительными испытаниями являются: Русский язык (ЕГЭ), Обществознание (ЕГЭ) и Творческий конкурс.

Дизайн – проектная деятельность. Современные требования к разработке новых

образцов техники и технологий – обеспечение жизненного цикла изделий (PLM-технологии (Product Lifecycle Management), BIM-технологии (Building Information Modeling)): разработка и создание, эксплуатация и ремонт, утилизация. Международный совет организаций по промышленному дизайну (ICSID) определяет так сферу своей деятельности: «дизайн – творческая проектная деятельность, направленная на создание многосторонних свойств изделий, процессов, услуг и систем на протяжении всего их жизненного цикла. Поэтому дизайн является главным фактором в гуманизации инновационных технологий и решающим фактором взаимодействия культуры и экономики» [6].

Учебный план подготовки дизайнеров содержит классические технические дисциплины: начертательная геометрия и технический рисунок, основы проектной графики, технология машиностроения, технологические процессы и оборудование в машиностроении, материаловедение, организация проектной деятельности и др.; и специальные дисциплины: история культуры и искусств, рисунок академический, живопись, основы композиции в промышленном дизайне, компьютерное обеспечение дизайн-проектирования и др. Подготовка магистров включает дизайн-исследования, системное дизайн-проектирование, эргодизайн, защиту интеллектуальной собственности. Информационная подготовка студентов реализована в виде сквозной подготовки в течение всего времени обучения. На младших курсах студенты изучают теорию геометрического моделирования и практикуются в создании трехмерных электронных геометрических моделей в рамках дисциплины компьютерная графика [7]. Созданные модели используются в дальнейшем, как при изучении классических технических дисциплин, так и при освоении специальных дисциплин [8].

Классические технические дисциплины читают преподаватели МГТУ им. Н.Э. Баумана и Московского политехнического университета. Для реализации подготовки по специальным дисциплинам кафедра сотрудничает с Московским государственным университетом дизайна и технологии, Московской государственной художественно-промышленной академией имени С.Г. Строганова и дизайн-студиями. На кафедре преподают как опытные дизайнеры, члены «Союза дизайнеров России», члены «Союза художников», так и молодые практикующие дизайнеры. Такой альянс позволяет студентам получить знания и

опыт применения разнообразных подходов и методик в дизайн-проектировании.

Учебный процесс строится на принципе сотрудничества преподавателя и студента. При такой технологии обучения студенты являются не пассивными слушателями, а занимают деятельную позицию, позволяющую развивать творческое мышление. С этой целью созданы учебные аудитории по принципу дизайн-студий, приспособленные для проведения разновариантных занятий, в которых совмещаются интерактивные лекции, компьютерное моделирование, макетирование, проектная работа. Такая среда способствует творческой атмосфере, раскрытию индивидуального потенциала студента.

Студенты кафедры «Промышленный дизайн» принимают участие в совместных разработках с выпускающими кафедрами МГТУ им. Н.Э. Баумана и выполняют реальные заказы промышленности. Это позволяет в процессе обучения в университете приобрести опыт работы с конструкторами и технологами.

Применение современных технических средств: специализированные компьютерные классы; макетная мастерская, оснащенная современным оборудованием с 3D-принтером; мультимедийное оборудование – все это повышает эффективность обучения. На кафедре промышленного дизайна создан общеуниверситетский Центр «Системное дизайн-проектирование и прототипирование». Центр оснащен, в том числе, установкой объемного прототипирования и современными компьютерными графическими станциями, позволяющими решать сложные ресурсоемкие задачи, связанные с дизайном изделий.

Выпускники кафедры работают в конструкторских бюро, в центрах промышленного дизайна, в дизайн-студиях, творческих организациях во многих сферах производственной и общественной деятельности.

Кафедра «Промышленный дизайн» МГТУ им. Н.Э. Баумана также работает в системе второго высшего образования: набор на платной основе, вступительные испытания – собеседование; в системе среднего профессионального образования: направление подготовки 54.02.01-Дизайн (по отраслям), квалификация – дизайнер. Кафедра обеспечивает дополнительное образование: профессиональная переподготовка по образовательным программам «Промышленный дизайн», «Эргономика в промышленности»,

повышение квалификации по образовательным программам «Актуальные вопросы промышленного дизайна», «Методология дизайн-проектирования», «Эргономика в технических системах».

Кафедра «Промышленный дизайн» молодое структурное подразделение МГТУ им. Н.Э. Баумана, но уже имеющее свою историю – выпускник МГТУ им. Н.Э. Баумана инженер В.Г. Шухов и его гиперболоидные архитектурные конструкции и будущее: «промышленные дизайнеры имеют дело с человеческим фактором и заботятся о том, чтобы проектируемый ими продукт был безопасен, удобен в использовании, пригоден для жизни и труда самых разных людей, в нем нуждающихся» [6].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев В.И., Седов Л.А., Гузненков В.Н. Программы дисциплины «Компьютерная графика». – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 4 с.
2. Гузненков В.Н., Морозова Н.В. Программа дисциплины «Основы проектной графики» / Дисциплина для учебного плана специальности 0706010065 Дизайн факультета МТ. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 10 с.
3. Гузненков В.Н., Гусев В.И., Седов Л.А. Программа дисциплины «Начертательная геометрия» для специальностей факультета МТ. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 9 с.
4. Гузненков В.Н., Гусев В.И., Седов Л.А. Программа дисциплины «Инженерная графика» для специальностей факультета МТ. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 14 с.
5. <http://design.bmstu.ru/>
6. Михеева М.М., Синельников А.С., Терехова Н.Ю. Кафедра МТ-9 «Промышленный дизайн» / Под редакцией А.Г. Колесникова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 23 с.
7. Серегин В.И., Гузненков В.Н., Журбенко П.А. Компьютерная графика. 3D-моделирование: базовый курс / Программа учебной дисциплины (на платформе Autodesk Inventor). – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 6 с.
8. Якунин В.И., Гузненков В.Н., Журбенко П.А. Геометрическое моделирование как междисциплинарный язык // Дискуссия. – 2012. – № 12 (30). – С. 161–166.

### REFERENCES

1. Gusev V. I., Sedov L. A., Guznenkov V. N. Programs of the discipline "Computer graphics". – М.: MGTU im. N. Ushakov, 2004. - 4 p.
2. Guznenkov, V. N., Morozova N. In. The program of the discipline "fundamentals of project graphics" / Discipline curriculum specialty 0706010065 Design of the faculty of MT. – М.: MGTU im. N. Ushakov, 2008. - 10 p.
3. Guznenkov VN, Gusev V. I., Sedov L. A. program of discipline "descriptive geometry" for specialties of the faculty of MT. – М.: MGTU im. N. Ushakov, 2010. - 9 p.
4. Guznenkov VN, Gusev V. I., Sedov L. A. program of discipline "Engineering graphics" for specialties of the faculty of MT. – М.: MGTU im. N. Ushakov, 2010. - 14 p.
5. <http://design.bmstu.ru/>
6. Mikheeva M. M., Sinelnikov A. S., Terekhova N. Yu. The Department MT-9 "Industrial design" / Under the editorship of A. G. Kolesnikov. – М.: MGTU im. N. Ushakov, 2011. - 23 p.
7. Seregin V. I., Guznenkov V. N., Zhurbenko P. A. Computer graphics. 3D modeling: basic course / program of the discipline (based on Autodesk Inventor platform). – М.: MGTU im. N. Ushakov, 2016. - 6 p.
8. Yakunin V. I., Guznenkov V. N., Zhurbenko P. A. Geometric modeling as an interdisciplinary language // Discussion. - 2012. – No. 12 (30). – S. 161-166.

INFORMATION TECHNOLOGY IN THE TRAINING OF INDUSTRIAL DESIGNERS

V.N. Guznenkov, P.A. Shurbenko

**Summary.** The article describes the preparation of bachelors and masters – designers of industry in the Bauman Moscow State Technical University. It is noted that the system of training specialists in the field of industrial design includes classical engineering and technical training and special disciplines. In teaching methods of conducting classes using information technologies on the basis of modern technical means are used. Students take part in joint developments with graduating departments and carry out real orders of industry. It is shown that the department «Industrial Design» – a young structural unit of the Bauman Moscow State Technical University, but already having its own history.

**Key words:** higher education, information technologies, industrial design, curriculum.

УДК 693.56

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРЕДВИЖНОГО РАСТВОРОБЕТОННОГО УЗЛА В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР НАРУЖНОГО ВОЗДУХА

Головченко И.В.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)

ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,

295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181,

E-mail: [Golovchenko.igor.v@gmail.com](mailto:Golovchenko.igor.v@gmail.com)

**Аннотация.** В статье показаны возможные способы приготовления и доставки бетонной смеси в условиях повышенных температур наружного воздуха. Определена область рационального применения автобетоносмесителей для доставки бетонной смеси на объект со стационарного растворобетонного узла и мобильного бетонного завода в зависимости от требуемого расстояния доставки.

**Ключевые слова:** автобетоносмеситель, мобильный бетонный завод, расстояние доставки бетонной смеси, стоимость доставки бетонной смеси, стоимость доставки мобильного бетонного завода.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Крыму возводится большое количество объектов, как по Федеральным целевым программам, так и с привлечением частных инвесторов. В тоже время заводы по производству товарного бетона и растворобетонные узлы находятся, в основном, в городах и крупных поселках городского типа, что приводит к необходимости транспортировать готовую бетонную смесь на значительные расстояния. В условиях повышенных температур наружного воздуха, которые наблюдаются в Крыму с мая по сентябрь, данная задача является трудновыполнимой. Задача обеспечения бетонными смесями может быть решена путем установки на объектах передвижных растворобетонных узлов, что приводит к увеличению качества бетонной смеси и улучшает её удобоукладываемость.

Для оптимизации технико-экономических показателей производства бетонных работ в условиях повышенных температур наружного воздуха необходимо определить также расстояние от объекта до стационарного растворобетонного узла, при котором было бы выгодно установка на данном объекте передвижного растворобетонного узла.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Бетонная смесь после доставки на объект и подачи непосредственно в момент укладки и уплотнения должна иметь требуемую подвижность, позволяющую качественно уложить её в конструкцию. В условиях сухого и жаркого климата следует применять быстротвердеющие цементы, поскольку с ускорением процесса твердения процесс обезвоживания в значительной степени нивелируется [1]. Однако применение быстротвердеющих цементов не всегда экономически целесообразно. Кроме того, применение таких цементов делает практически невозможным транспортирование готовых бетонных смесей на значительные расстояния. Исследованию свойств бетонов в сухом и жарком климате посвящены труды многих советских, российских и зарубежных ученых [1, 2,3,4,5]. Наиболее распространенным и эффективным способом сохранения подвижности бетонной смеси является применение современных гиперпластификаторов и замедлителей схватывания, позволяющих сохранить подвижность бетонной смеси в течение 4-х часов с момента приготовления [6, 7]. Однако, применение данных химических добавок увеличивает стоимость самой бетонной смеси, что вместе с затратами на доставку существенно повышает стоимость бетонной смеси.

## ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Цель исследования** – снижение затрат на приготовление и доставку бетонных смесей на объект за счет определения оптимального размещения растворобетонного узла по отношению к объекту строительства.

**Задача исследования** – разработка методики определения области рационального применения передвижного растворобетонного узла в условиях повышенных температур наружного воздуха.

## ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Согласно исследованиям, изложенным в [8], максимальное расстояние транспортирования бетонной смеси автобетоносмесителями зависит от наличия в бетонной смеси гиперпластификаторов и замедлителей схватывания бетона, вместимости автобетоносмесителя и способа подачи бетонной смеси в конструкцию. Так максимальное расстояние транспортирования бетонной смеси в автобетоносмесителях вместимостью  $6\text{ м}^3$  при подаче бетонной смеси бетононасосом составляет 68 км, в автобетоносмесителях вместимостью  $8\text{ м}^3$  составляет 50 км, в автобетоносмесителях вместимостью  $10\text{ м}^3$  составляет 33 км. С увеличением расстояния от стационарного РБУ до объекта затраты на доставку бетонной смеси значительно возрастают. В тоже время на рынке появились мобильные РБУ производительностью  $20\text{ м}^3/\text{ч}$  и более, которые доставляются одним автопоездом и собираются в течение одной смены. Таким образом, зная расстояние до объекта, объем бетонных работ, способ доставки и подачи бетонной смеси, можно определить, что рациональнее доставка бетонной смеси автобетоносмесителями или установка на объекте передвижного растворобетонного узла.

Исследования были проведены на объекте санаторий «Сакрополь» с общим объемом бетонных работ по каркасу здания  $V_{\bar{o}} = 2194\text{ м}^3$ .

### Доставка бетонной смеси автобетоносмесителями со стационарного растворобетонного узла

Стоимость доставки бетонной смеси со стационарного РБУ определяется по формуле

$$C = (C_{mp} \cdot t_{mp} + C_p \cdot t_p) \cdot n_{\bar{u}}, \text{ руб.} \quad (1)$$

где:  $C_{mp}$  – стоимость транспортирования бетонной смеси автобетоносмесителями различной вместимости, руб./час;

$t_{mp}$  – время доставки бетонной смеси, час;

$C_p$  – стоимость простоя автобетоносмесителя под разгрузкой, руб./час;

$t_p$  – время разгрузки автобетоносмесителя, час;

$n_{\bar{u}}$  – количество циклов доставки бетонной смеси, ц.

Время доставки бетонной смеси определяется исходя из средней скорости движения автобетоносмесителя 30 км/час.

Время разгрузки автобетоносмесителя определено в [8]. Количество циклов доставки бетонной смеси определяется по формуле:

$$n_{\bar{u}} = \frac{V_{\bar{o}}}{V_{\bar{o}c}}, \quad (2)$$

где:  $V_{\bar{o}}$  – суммарный объем бетонной смеси, подлежащий доставки на объект,  $\text{м}^3$ ;

$V_{\bar{o}c}$  – вместимость автобетоносмесителя,  $\text{м}^3$ .

Стоимость бетонной смеси с гиперпластификатором Мурапласт ФК 63.3 (0,6%) и замедлителем схватывания Цетрамент Ретард 390 (0,35%) составляет  $C_{\bar{o}} = 6529 \text{ руб.}$

Рассчитанная по приведенной методике стоимость доставки бетонной смеси автобетоносмесителями вместимостью  $6\text{ м}^3$ ,  $8\text{ м}^3$  и  $10\text{ м}^3$  вместе со стоимостью самой бетонной смеси приведено в таблице 1.

Согласно данным, приведенным в [9] стоимость доставки бетонной смеси автобетоносмесителями вместимостью  $10\text{ м}^3$  принята 2000 руб./час, вместимостью  $8\text{ м}^3$  – 1800 руб./час, вместимостью  $6\text{ м}^3$  – 650 руб./час.

### Приготовление бетонной смеси на объекте в передвижном растворобетонном узле

В качестве передвижного растворобетонного узла был рассмотрен приобъектный сверхмобильный бетонный завод МОБИЛ-20, производительностью  $20\text{ м}^3/\text{час}$ .

Доставка завода производится в 20-ти тонном контейнере или в полуприцепе. Габариты завода 4,4 x 2,0 x 2,4м в транспортном положении, вес 4 тонны. Ввод завода в эксплуатацию от момента доставки составляет 2 часа. Стоимость бетонной смеси, приготовленной на мобильном заводе без химических добавок, составляет 6215 руб./м<sup>3</sup>. Арендная плата за использование мобильного завода составила 1617руб./сут. Стоимость доставки

мобильного завода включает стоимость доставки самого завода, рассчитываемую по формуле (1) и стоимость аренды крана для разгрузки завода на объекте [10, 11].

Рассчитанная стоимость доставки мобильного бетонного завода и стоимость бетонной смеси, приготовленной на данном заводе приведена в таблице 1.

Таблица 1. Стоимость бетонной смеси, доставляемой автобетоносмесителями и приготовленной на мобильном бетонном заводе

№	Расстояние до объекта, S км	Стоимость бетонной смеси с доставкой автобетоносмесителями, вместимостью V = 10м <sup>3</sup> , руб.	Стоимость бетонной смеси с доставкой автобетоносмесителями, вместимостью V = 8м <sup>3</sup> , руб.	Стоимость бетонной смеси с доставкой автобетоносмесителями, вместимостью V = 6м <sup>3</sup> , руб.	Стоимость бетонной смеси, приготовленной на мобильном бетонном заводе, руб.
1.	5	3450500	3479493	3503519	13806299
2.	10	6901000	6958986	7007039	13815919
3.	20	13802000	13917972	14014077	13822849
4.	30	20703000	20876958	21021116	13825599
5.	40	-	27835944	28028155	13832932
6.	50	-	34794930	35035193	1382932
7.	60	-	-	42042232	13858599
8.	70	-	-	49049270	13840265

## ВЫВОДЫ

Из полученных технологических и экономических расчетов можно сделать вывод, что доставка бетонной смеси со стационарным РБУ автобетоносмесителями экономически целесообразно на расстоянии до 20 км, а при больших расстояниях целесообразнее на объект доставить мобильный бетонный завод.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пунагин, В.Н. Технология бетона в условиях сухого жаркого климата. – М.: ФАН УССР, 1970. – 222 с.
2. Тейлор, Х. Химия цемента. Пер. с англ. – М.: Мир, 1996. – 560 с., ил.
3. Баженов, Ю.М. Технология бетона. Учебник. – М.: АСВ, 2002. – 500 с.
4. Темкин, Е.С. Технология бетона для сухого жаркого климата с использованием солнечной энергии. – М.: АСВ, 2006. – 72 с.
5. Невилль, А.М. Свойства бетона. Пер. с англ. – М.: Строиздат, 1972. – 344 с.

6. Весь Бетон 134 Выпуск. Бетонирование в летний период [Электронный ресурс]. URL: <http://subscribe.ru/archive/home.build.penobeton/201204/03195500.html>.

7. Гиперпластификатор Muraplast FK 63: продуктовые решения компании MC Bauchemie [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mc-bauchemie.ru/products/Murahlast-FK-63.607.html> (дата обращения 13.12.2016).

8. Головченко, И.В. Методика расчета максимального расстояния транспортирования бетонной смеси автобетоносмесителями в условиях повышенных температур наружного воздуха /И.В. Головченко// Строительство и техногенная безопасность. – 2017. – №9(61).

9. Бетонная смесь кл. В20: производство бетонных смесей компанией ООО «Владоград-Бетон» [Электронный ресурс]. URL: <http://vladogradbeton.com> (дата обращения 20.02.2016).

10. ООО "Волжский Завод Бетоносмесительных Машин". Завод по производству бетонных заводов. [Электронный ресурс]//Интернет ресурс о строительной технике. 1994. 381 с. Режим доступа: <http://samarskayaluka.ru> (дата обращения 20.02.2016).

11. ООО «ИнтерБилдинг». Прайс лист на аренду строительной техники. [Электронный ресурс]// Прайс лист с описанием. 2015. 4 с. Режим доступа: <http://interbld.ru/price-list> (дата обращения 18.01.2016).

## REFERENCES

1. Punagin, V.N. Technology of concrete in dry hot climate. - Moscow: FAN of the USSR, 1970. - 222 p.
2. Taylor, H. Chemistry of Cement. Trans. with English. - Moscow: Mir, 1996. - 560 pp., Ill.
3. Bazhenov, Yu.M. Technology of concrete. Textbook. - M.: ASV, 2002. - 500 p.
4. Temkin, E.S. Concrete technology for dry hot climate using solar energy. - M.: ASV, 2006. - 72 p.
5. Neville, A.M. Properties of concrete. Trans. with English. - Moscow: Stroizdat, 1972. - 344 p.
6. Entire Concrete 134 Issue. Concreting in the summer [Electronic resource]. URL: <http://subscribe.ru/archive/home.build.penobeton/201204/03195500.html>.
7. Hyperplasticizer Muraplast FK 63: product solutions of MCBauchemie [Electronic resource].

URL: <http://www.mc-bauchemie.ru/products/Murahlast-FK-63.607.html> (circulation date 13.12.2016).

8. Golovchenko, I.V. Method for calculating the maximum distance of transportation of a concrete mix by truck mixers in conditions of high ambient air temperatures / IV. Golovchenko // Building and technogenic security. - 2017. - No. 9 (61).

9. Concrete mixture. B20: production of concrete mixtures by LLC Vladograd-Beton [Electronic resource]. URL: <http://vladogradbeton.com> (reference date is February 20, 2016).

10. Open Company "Volzhsky Factory of Concrete-mixing Machines". Plant for the production of concrete plants. [Electronic resource] // Internet resource about construction equipment. 1994. 381 p. Access mode: <http://samarskayaluka.ru> (date of circulation on February 20, 2016).

11. InterBuilding LLC. Price list for the rental of construction equipment. [Electronic resource] // Price sheet with description. 2015. 4 pp. Access mode: <http://interbld.ru/price-list> (circulation date is January 18, 2016).

## DETERMINATION OF THE AREA OF RATIONAL USE OF A MOBILE SOLUTION-CONCRETE UNIT IN THE CONDITIONS OF INCREASED TEMPERATURES OF EXTERNAL AIR

Golovchenko I.V.

**Summary:** The article shows possible ways of preparing and delivering a concrete mix in conditions of elevated temperatures of outside air. The area of rational application of truck mixers for delivering a concrete mix to an object from a stationary mortar-concrete unit and a mobile concrete plant, depending on the required delivery distance, is defined.

**Keywords:** truck mixer, mobile concrete plant, delivery distance of concrete mix, cost of delivery of mobile concrete plant.

УДК 692:624.04

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УСИЛЕНИЯ КАМЕННОЙ КЛАДКИ НА ПК «ЛИРА-САПР»

Богущий Ю.Г.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)

ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,

295493 РК г. Симферополь, ул. Павленко, 3, корпус 2, к. 403

e-mail\*: [bogutskiyvg@mail.ru](mailto:bogutskiyvg@mail.ru)

**Аннотация.** Статья посвящена проблеме моделирования усиления каменной кладки стальной обоймой из уголков на ПК «ЛИРА-САПР». Основным методом исследований является численный анализ каменной кладки, верифицированный физическим экспериментом. Было рассмотрено несколько вариантов моделирования усиления каменной кладки.

**Ключевые слова:** каменная кладка, усиление, стальная обойма, верификация, ПК «ЛИРА-САПР», конечный элемент, физический эксперимент.

### ВВЕДЕНИЕ

Наиболее распространенной причиной разрушения каменных зданий в результате сейсмического воздействия являются главные растягивающие напряжения. Основной задачей является усиление кладки для восприятия главных растягивающих напряжений. Одним из вариантов усиления узких простенков является стальная обойма, которая воспринимает до 15% горизонтальной силы в простенке. Выполняя расчет пространственной модели здания или сооружения, получаем напряженно-деформированное состояние каменной кладки, вертикальные и горизонтальные усилия. Если прочность каменной кладки простенков не обеспечена, то необходимо предложить усиление, а как правильно его смоделировать – это вопрос. Усиление и усиливаемая конструкция должны работать параллельно. При последовательной работе сначала большая часть нагрузки будет передаваться на усиливаемую каменную кладку, которая воспринять ее не может, а после разрушения кладки вся нагрузка действует на усиление, которое также не может ее воспринять. Наступает полное разрушение кладки. В связи с этим необходимо изучить работу усиленного простенка и создать методику расчета.

**Предметом исследования** данной статьи является напряженно-деформированное состояние усиленной каменной кладки.

Объект исследования – каменная кладка.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Исследования прочности и деформаций кладки из пильного известняка при центральном сжатии производили с камнями карьеров Крыма, Азербайджана, Украины, Молдавии, Узбекистана и других месторождений. Каждый из исследователей предлагал свою методику оценки напряженно-деформированного состояния и усиления каменных зданий на примере простенков различного сечения. Существует несколько способов усиления каменной кладки: стальная обойма, железобетонная обойма, обойма из раствора, обойма из композиционных материалов и т.д. [4,5,6,7]. Но нет четкой методики моделирования усиления каменной кладки стальной обоймой на ПК «ЛИРА-САПР».

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цели исследования - смоделировать адекватную расчетную конечно-элементную модель каменной кладки, усиленную стальной обоймой из прокатных уголков, соединенных пластинами.

#### Задачи исследования:

1. Выполнить анализ результатов натурного испытания не усиленной каменной кладки.
2. Создать и выполнить расчет конечно-элементной модели не усиленной каменной кладки из объемных конечных элементов на ПК «ЛИРА-САПР», и сопоставить результаты с натурным испытанием.

3. Создать и выполнить расчет нескольких конечно-элементных моделей усиленной каменной кладки из объемных конечных элементов на ПК «ЛИРА-САПР», и сопоставить результаты с теоретическими предпосылками.

4. Разработать рекомендации по расчету усиления каменных простенков, усиленных стальной обоймой на ПК «ЛИРА-САПР».

### Основной раздел с результатами и их анализом

Для моделирования не усиленной каменной кладки взяты материалы результатов натурных испытаний каменной кладки при центральном сжатии [1]. Испытания проводились на образцах кладки сечением 0,4x0,4 м высотой 1,05 м, выполненные из материалов крымского природного происхождения со следующими характеристиками составляющих кладки: прочность камня  $R_1=50 \text{ кг/см}^2$ , прочность раствора  $R_2=10 \text{ кг/см}^2$  (рис. 1).

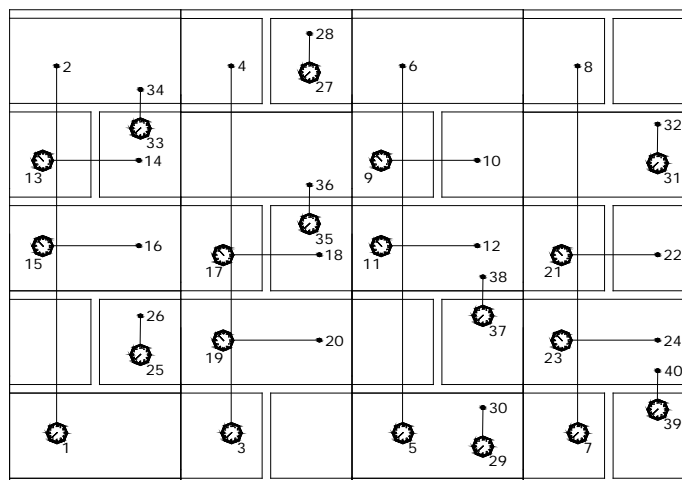


Рис.1. Образец каменной кладки, подготовленный к испытанию

Рис.2. Развертка каменного образца. Схема размещения измерительных приборов

В данной статье для анализа взяты результаты по контрольным точки 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 и 8, которые определяли перемещения по оси Z, т.е. вдоль экспериментального образца на базе 900 мм. После обработки данных построена зависимость между напряжениями и продольными деформациями кладки при центральном сжатии (рис. 4, график 2).

По характеристикам материалов кладки натурального образца построена конечно-элементная модель k150\_10н из объемных элементов КЭ-231 (рис. 3). Для моделирования применен закон деформирования материала №11 со следующими исходными данными, определенными по СП [3]:

В качестве нагружающих устройств применялся гидравлический пресс П-250 с максимальным сжимающим усилием 250 тс. Контроль давления в гидравлической системе выполнялся по силоизмерительному устройству со шкалой до 250 т и ценой деления 500 кг. В измерительной системе основными элементами для контроля перемещения фиксированных точек образца были применены индикаторы часового типа ИЧ-10 (8 шт.), индикаторы многооборотные МИГ-1 (8 шт.) и прогибомеры БПАО (4 шт.), всего 20 шт. Индикаторы крепились непосредственно к каменному столбу. Измерительная система позволяла контролировать абсолютные перемещения в сорока точках экспериментального образца по направлениям основных осей координат, принятых в эксперименте как показано на рис. 2.

модуль деформаций  $E^+=E^-=1408 \text{ МПа}$ , коэффициент Пуассона  $\nu=0,35$ , предел прочности на сжатие  $\sigma^-=1,76 \text{ МПа}$ , предел прочности на растяжение  $\sigma^+=0,1 \text{ МПа}$ , предельные относительные деформации на сжатие  $\varepsilon^-=0,002$ , на растяжение  $\varepsilon^+=0,0002$ . После обработки численного эксперимента модели k150\_10н построена зависимость между напряжениями и продольными деформациями кладки при центральном сжатии (рис. 4, график 1).

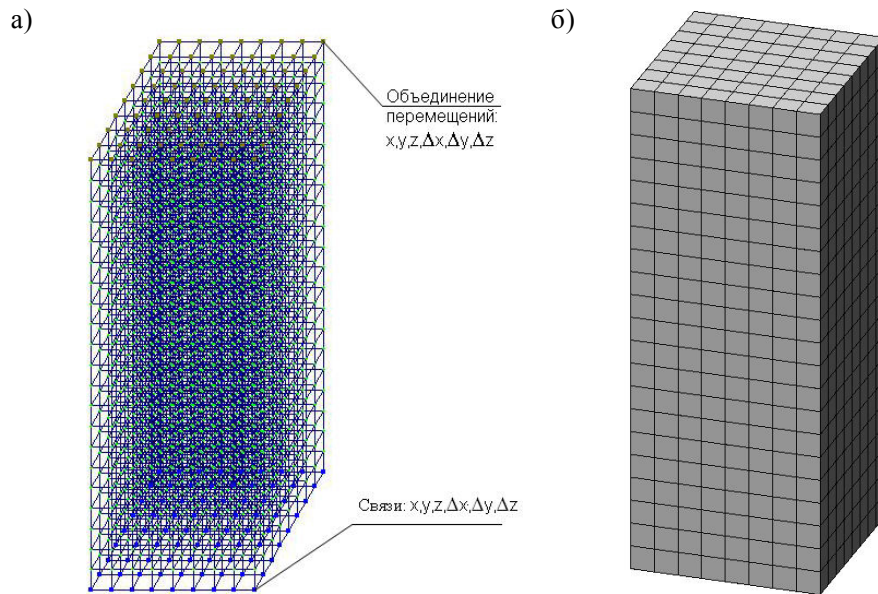


Рис. 3: а – расчетная конечно-элементная модель, б – объемная расчетная конечно-элементная модель  
 На рис. 4, график 5 так же показана зависимость между напряжениями и продольными деформациями кладки при центральном сжатии при кратковременной нагрузке построенная по формуле (8) п.6.23 СП [3].

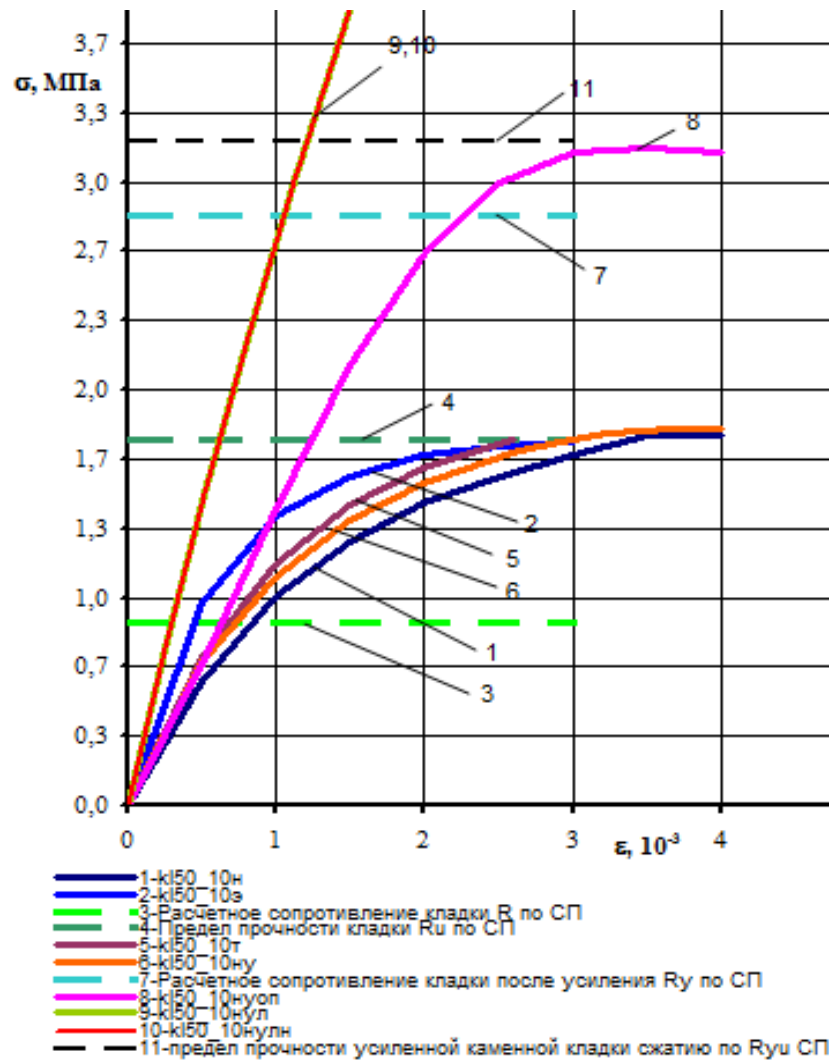


Рис. 4. Графики деформирования каменной кладки

Анализируя графики 1, 2, 5 на рис. 4, можно сделать вывод, что результаты натуральных испытаний, результаты численного моделирования практически совпадают с теоретическими предпосылками для нелинейных расчетов, и модель не усиленного каменного простенка k150\_10н можно считать адекватной.

Далее предлагается вариант усиления стальной обоймой из уголков 40x4 мм, соединенных планками.

Усиление каменной кладки стальной обоймой моделировали несколькими вариантами:

- расчетная модель k150\_10ну каменной кладки, усиленной нелинейно-деформированными стержневыми вертикальными и горизонтальными элементами КЭ-210 (рис. 4, график 6);

- расчетная модель k150\_10нул каменной кладки, усиленной линейно-деформированными стержневыми вертикальными и горизонтальными элементами КЭ-10 (рис. 4, график 9);

- расчетная модель k150\_10нулн каменной кладки, усиленной линейно-деформированными вертикальными элементами КЭ-10 и нелинейно-деформированными горизонтальными элементами КЭ-210 (рис. 4, график 10);

- расчетная модель k150\_10нуоп каменной кладки, усиленной в виде процента армирования элементов (рис. 4, график 8).

Расчетные разрушающие нагрузки составили:

- для модели k150\_10ну  $N_u=29$  т;

- для модели k150\_10нул  $N_u>120$  т (разрушение не достигнуто);

- для модели k150\_10нулн  $N_u>120$  т (разрушение не достигнуто);

- для модели k150\_10нуоп  $N_u=50,4$  т.

На рис. 4, график 11 так же показан предел прочности усиленной каменной кладки, рассчитанный по формулам таблицы 19 [2,4,5,6].

Анализируя графики 6, 8, 9, 10 на рис. 4, можно сделать вывод, что моделирование каменной кладки, усиленной в виде процента армирования больше всего совпадает с теоретическими предпосылками [2,4,5,6], и модель усиленного каменного простенка k150\_10нуоп можно считать адекватной.

## ВЫВОДЫ

1. Создана модель не усиленного каменного простенка сечением 0,4x0,4 м высотой 1,05 м из объемных конечных элементов, которые адекватно описывают напряженно-деформированное состояние каменной кладки при центральном сжатии. Расхождение между натурными испытаниями, численным моделированием и теоретическими предпосылками составляет не более 5%, что обеспечивает вероятность 0,95.

2. На основании модели не усиленного простенка было создано несколько моделей усиленных каменных простенков из объемных конечных элементов. Сравнивая результаты которых, адекватно описывает напряженно-деформированное состояние каменной кладки при центральном сжатии модель с усилением в виде процента армирования. Расхождение между численным моделированием и теоретическими предпосылками составляет не более 5%, что обеспечивает вероятность 0,95.

3. При примере созданных моделей можно выполнять расчеты каменных простенков на разные виды нагрузок.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богуцкий Ю.Г. Деформации раствора вертикальных и горизонтальных швов в каменной кладке при центральном нагружении/ Ю.Г. Богуцкий// Сб. Строительство и техногенная безопасность, сб. научн. тр. НАПКС, вып. 12. Симферополь, НАПКС, 2005 г.

2. Поляков С.В., Фалевич Б.Н. Каменные конструкции.//Под ред. Л.Е.Темкина - М.: Госстройиздат, 1960. - 308 с.

3. СП 15.13330.2012 СНиП II-22-81 Каменные и армокаменные конструкции. -М.: Минрегион России, 2012 – 78 с.

4. СТО 221 НОСТРОЙ 2.9.142-2015 Восстановление и повышение несущей способности кирпичных стен. Проектирование и строительство. Правила, контроль выполнения и требования к результатам работ /ОАО «ЦНИИПромзданий».-М.: 2013. - 125 с.

5. Рекомендации по усилению каменных конструкций зданий и сооружений /ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко.-М.: Стройиздат, 1984.-38с.

6. Руководство по проектированию каменных и армокаменных конструкций/ ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко Госстроя СССР. -М.: Стройиздат, 1974. – 185 с.

7. Michael L.A. Rehabilitation of unreinforced masonry walls with externally applied fiber reinforced polymers/A thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies and Research in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Structural Engineering.(диссертация)- Edmonton, Alberta Fall: 1998.-132 с.

### REFERENCES

1. The Bohutskiy Yu. G. Deformation of the solution of the vertical and horizontal joints in masonry, with a Central loading/ Y. G. Bogutskaya// Proc. Construction and industrial safety, collection of scientific. Tr. NAPCS, vol. 12. Simferopol, NAPCS, 2005

2. Polyakov S. V., Valevich B. N. The stone structure.// Ed. L. E. Temkina-M.: Gosstroizdat, 1960. - 308 p.

3. SP 15.13330.2012 SNiP II-22-81 masonry and reinforced masonry structures. -M.: the Ministry of regional development, 2012 – p. 78

4. STO NOSTROY 221 2.9.142-2015 Restoring and increasing the carrying capacity of the brick walls.

Design and construction. Rules, the monitoring of implementation and requirements to results of work of OJSC "J" .- Moscow: 2013. - 125 p.

5. Recommendations on strengthening of masonry structures of buildings and constructions /tsniisk.V. A. Kucherenko.- Moscow: Stroyizdat, 1984.- 38С.

6. Guidelines for the design of masonry and reinforced masonry structures/ tsniisk. V. A. Kucherenko Gosstroy of the USSR. - Moscow: Stroyizdat, 1974. 185 p.

7. Michael L. A. Rehabilitation of unreinforced masonry walls with externally applied fiber reinforced polymers/a thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies and Research in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Structural Engineering.(thesis)- Edmonton, Alberta Fall: 1998.-132 С.

### IMULATION OF STRENGTHENING STONE MOVEMENT ON PC "LIRA-SAPR"

Bogutskiy Yr.G.

**Summary:** The article is devoted to the problem of modeling the strengthening of masonry with a steel clip from the corners on the PC "LIRA-SAPR". The main method of investigation is the numerical analysis of masonry, verified by a physical experiment. Several options for modeling the strengthening of masonry were considered.

**Keywords:** masonry, reinforcement, steel clip, verification, PC "LIRA-SAPR", final element, physical experiment.



УДК 69.002.5

## О НЕОБХОДИМОСТИ УЧЕТА ФАКТОРОВ, ОКАЗЫВАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕССЫ ВОСПРОИЗВОДСТВА СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Н.В. Цопа

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)

ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,

295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181

E-mail: [Natasha-ts@yandex.ru](mailto:Natasha-ts@yandex.ru)

**Аннотация.** Работа посвящена решению теоретико-прикладной задачи, направленной на исследование влияния совокупности факторов на процесс воспроизводства средств механизации строительных организаций. Рассмотрены два альтернативных варианта воспроизводства: обновление, ремонт.

**Ключевые слова:** механизация строительных организаций, средства механизации, методы механизации, факторы механизации, воспроизводственный процесс, обновление, ремонт, *Equipment Economics, O&O cost*.

### ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях строительная отрасль находится на новом уровне своего развития: внедряются новые технологии и совершенствуются существующие, появляются новые проектные решения зданий и сооружений, более высокие требования предъявляются к качеству строительно-монтажных работ, применяются новые способы и методы механизации технологических процессов. В связи с этим можно констатировать тот факт, что современное строительное производство является сложной управляемой системой, состоящей из совокупности финансово-экономических, материальных и трудовых ресурсов, которым присущ вероятностный характер. В этой системе, технологические и организационные аспекты, являются ключевыми при разработке и реализации инвестиционно-строительного проекта. Вероятностная природа строительной отрасли проявляется в том, что строительное производство находится в состоянии повышенного риска, т.к. возникают незапланированные отклонения технико-экономических, технологических параметров от плановых значений. Одним из главных технико-экономических показателей отрасли является производительность средств механизации, которая также является вероятностной величиной, по причине влияния на нее климатических факторов, степени износа и технического состояния машин и механизмов.

В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы является исследование факторов, которые

оказывают ключевое влияние на воспроизводственный процесс средств механизации строительных организаций, который связан с формированием потребностей в приобретении или ремонте средств механизации, оценка экономической целесообразности ремонта или обновления средств механизации и отдельных комплектов. При этом поясним, что основной задачей механизации строительного производства является повышение производительности труда в отрасли, сокращение количества тяжелых, трудоемких работ, снижение стоимости строительства.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Воспроизводственные процессы средств механизации наиболее целесообразно рассматривать с точки зрения воспроизводства основных фондов, т.к. машины и механизмы относятся к их активной части. Под воспроизводством основных фондов обычно подразумевают обновление, ремонт и модернизацию, соответственно воспроизводственные процессы средств механизации состоят в их обновлении, ремонте или модернизации. В рамках данной научной работы, сосредоточимся на двух основных формах воспроизводственного процесса: обновлении и ремонте средств механизации.

Наибольший вклад в изучение теории и практики эксплуатации, ремонта и оптимального использования средств механизации в строительстве внесли ведущие отечественные

ученые, среди которых необходимо отметить: В.Н. Анферов [1], В.А. Воробьев [2], Е.М. Кудрявцев [3], С.М. Кузнецов [4-5], С.В. Репин [6], А.В. Семенченко [7], В.Т. Шаленный [8], А.А. Яблонский [9], Р. Пьюрифай, К. Шекснэйдер, А. Шапира [10-11], И.Г. Нэйви [12].

Изучение существующих работ зарубежных и отечественных ученых-технологов, позволило сделать вывод о том, что при формировании средств механизации, в основном рассматривается подход, который базируется на трех методах: создание парка машин и механизмов для удовлетворения собственных потребностей строительной организации; лизинг отсутствующих средств механизации; возможности предоставления незанятых в производственном процессе машин и механизмов в аренду [10, С. 17]. Представители зарубежной школы посвятили ряд теоретико-прикладных исследований формированию концептуальных основ экономики средств механизации, более известной как Equipment Economics. Основной задачей такого направления науки является обоснование того, какая будет величина издержек на эксплуатацию машин и механизмов в конкретном проекте; а также какой оптимальный жизненный цикл у средств механизации и какой способ обеспечения безопасности их эксплуатации будет наиболее оптимальным. Единственной причиной, которая влияет на приобретение средств механизации, является их максимальная загрузка, которая, впоследствии, будет генерировать прибыль строительной организации. Главное влияние на величину прибыли оказывают расходы на владение и эксплуатацию средств механизации, так называемые O&O cost. Данные расходы рассчитываются в стоимостном выражении за 1 час работы машины и механизмов. В нашей стране, в основе определения необходимого количества средств механизации лежат два нормативных документа: СН 494-77 «Нормы потребности в строительных машинах», СНиП 5.02.02-86 «Нормы потребности в строительном инструменте», методическое пособие по определению потребности в основных строительных машинах [13, 14, 15]. При этом нет четкого выделения методов, влияющих на принятие окончательного решения по вопросам воспроизводственного процесса средств механизации.

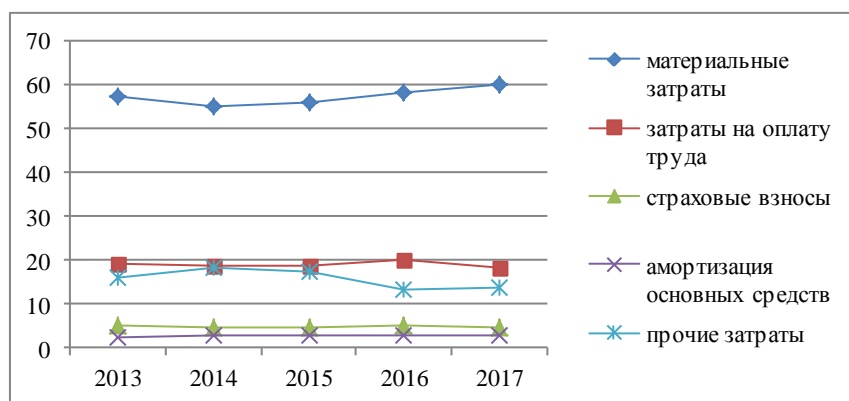
## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Методологической основой исследования являются методы системного, статистического анализа, методы теории вероятности и математической статистики, информационные технологии. На основе использования методов анализа литературных источников, теории управления инвестиционно-строительными проектами, научного обобщения теоретико-прикладных исследований, математической статистики получены основные результаты данной работы. Объектом исследования являются строительные процессы, выполнение которых происходит механизированным способом. Предметом исследования выступают методы и методики воспроизводственного процесса средств механизации в строительстве, состоящие в проведении их обновления или ремонта.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Анализ существующих работ по формированию и оптимизации парка средств механизации строительных организаций выявил, что при производстве строительных работ используются существующие парки строительных машин и механизмов, без учета вероятностного характера их деятельности.

Разработанные и утвержденные Госстроем РФ нормы и методики, в современных условиях активно подвергаются критике, в связи с тем, что при переводе расчетной стоимости машин и механизмов базисно-индексным методом в текущий уровень цен, они оказываются завышенными. Соответственно происходит увеличение затрат строительных организаций на материальные расходы и амортизацию. Рассматривая структуру затрат на производство строительных работ в Российской Федерации, можно убедиться, что доля материальных затрат составляет от 55 до 60% за последние 5 лет, как наглядно представлено на рис. 1. По оценкам экспертов, доля затрат на механизацию, в структуре затрат, при строительстве зданий и сооружений, варьируется в среднем от 10 до 20% [16].



**Рис. 1.** Динамика изменения структуры затрат на производство строительных работ в Российской Федерации, составлено на основании [16]

**Fig. 1.** Dynamics of changes in the structure of construction costs in the Russian Federation. Compiled on [16]

Соответственно при увеличении инфляции, происходит стремительный рост цен на строительные материалы, увеличиваются расходы на оплату труда и приобретение средств механизации. Однако в условиях конкурентной борьбы, многие подрядчики стремятся значительно не увеличивать сметную стоимость строительства, а резервы находят путем экономии на фонде оплаты труда, либо на приобретении средств механизации. Экономия на фонде оплаты труда приводит к тому, что к выполнению строительно-монтажных работ (СМР) привлекаются низкооплачиваемые работники из стран СНГ. Экономия на приобретении и эксплуатации средств механизации приводит к тому, что строительные организации либо приостанавливают финансирование по обновлению парка машин, либо финансируют эксплуатационные расходы не в полной степени, или же приобретаются самые дешевые средства механизации.

В сложившейся ситуации, из-за недостатка теоретико-практических основ, учитывающих совокупность факторов, влияющих на принятие решения по обновлению или ремонту средств механизации в строительстве, принимаются не правильные управленческие решения. Среди факторов, сдерживающих развитие производственной деятельности в строительстве: высокий уровень налогов (34%), высокая стоимость материалов, конструкций и изделий, средств механизации (29%), недостаток заказов на работы (29%), неплатежеспособность заказчиков (27%), недостаток финансирования (23%), конкуренция со стороны других строительных фирм (22%), высокий процент коммерческого кредита (15%), погодные условия (14%), недостаток квалифицированных рабочих (11%),

изношенность машин и механизмов (5%) [16]. Не все перечисленные выше факторы оказывают непосредственное влияние на принятие решения об обновлении или ремонте средств механизации. Поэтому исходя из представленных факторов, оказывающих негативное влияние на производственную деятельность строительных организаций, выделены основные шесть групп, влияющих непосредственно на процессы формирования потребностей строительных организаций в средствах механизации. К таким группам отнесены следующие: организационные, технологические, технические, климатические, нормативные, социальные. Основные факторы, оказывающие влияние на воспроизводственные процессы средств механизации в строительстве, представлены на рис. 2.

Влияние каждого из перечисленных групп факторов оценивается с точки зрения отклонения от запланированного хода выполнения работ. Здесь следует пояснить, что выполнение работ механизированным способом, связано с вероятностным их характером, по причине того, что указанные факторы случайно проявляются и в случайных комбинациях. Намеченные объемы строительно-монтажных работ, хотя и являются запланированными, но им присуща определенная степень неопределенности. Имея в своем распоряжении определенное количество комплектов средств механизации, строительные организации одновременно могут выполнять работы только на одном объекте. Поэтому определять необходимое количество комплектов или средств механизации возможно с помощью использования теории массового обслуживания.

В основе системы массового обслуживания лежит необходимость формирования заявок

(требований) на обслуживание по имеющейся системе каналов обслуживания [18, с. 258]. Процесс поступления требований в систему массового обслуживания является вероятностным и происходит через определенные промежутки времени. В большинстве работ, посвященных исследованию прикладных аспектов теории массового обслуживания, рассматривается ординарный поток, исходя из требований закона Пуассона [19, 20, 21].

Однако рассчитывая потребность в средствах механизации, не всегда существует возможность использовать вероятностные методы, т.к.

присутствует недостаточное количество исходной информации [22, 23]. Поэтому вполне можно использовать детерминированные методы расчета, а в качестве исходной информации – объемы строительно-монтажных работ и выработку машин и механизмов. В качестве основных показателей следует использовать: объемы СМР, выработку отдельных средств механизации и технологических комплектов, качественный и количественный состав парка машин и механизмов, количественный состав работников по специальности, срок службы средств механизации.

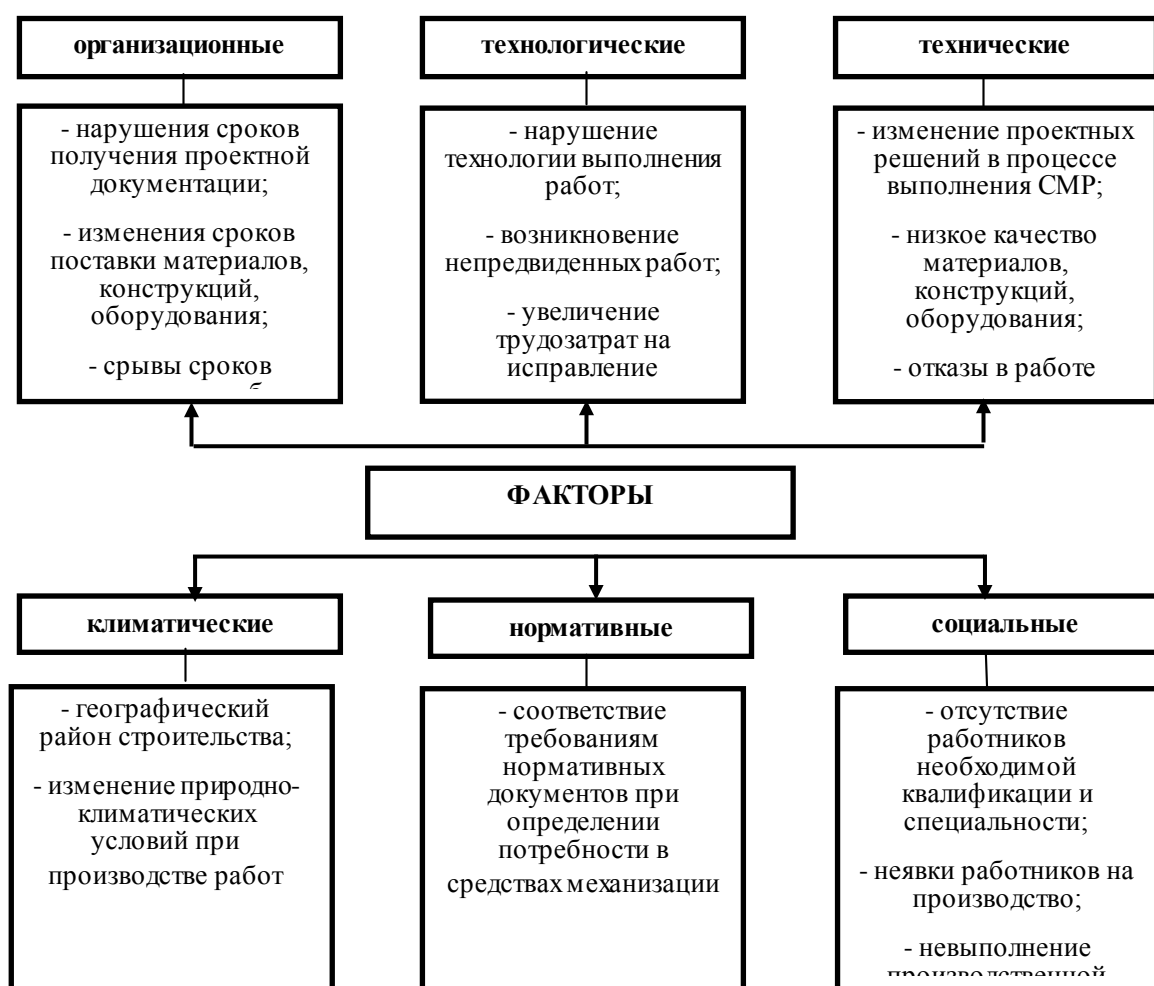


Рис. 2. Схема классификации факторов, оказывающих влияние на процессы механизации в строительстве

Fig. 2. The classification scheme of factors that have an influence on mechanization in construction industry

Применение теории массового обслуживания для расчета потребности в средствах механизации подразумевает использование следующей исходной информации: фактически произведенное ранее начало и позднее окончание выполнения работы (согласно сетевого графика), фактические объемы выполненных работ, трудоемкость

выполнения работ, выработка в расчете на одного работника в натуральном измерении. Для проведения дальнейшего экономического обоснования следует использовать ряд дополнительных показателей: стоимость средств малой механизации, стоимость машино-часа работы средств механизации или комплектов,

средняя заработная плата одного рабочего, трудоемкость единицы продукции, количество работников в бригаде. На основе приведенных выше показателей необходимо определить: фактическое наличие средств механизации строительной организации на 100 работников, количество заявок на выполнение работ, продолжительность выполнения одной заявки, процентное распределение объемов работ по интервалам (год, квартал, месяц).

Использование теории массового обслуживания позволяет определить

экономическую целесообразность ускорения ремонта средств механизации. Рассмотрим механизм, условно состоящий из двух основных узлов, каждый из которых может выйти из строя. Возможны четыре состояния системы:  $S_0$  – исправность узлов механизма,  $S_1$  – ремонт первого узла, исправность второго,  $S_2$  – исправность первого узла, ремонт второго,  $S_3$  – ремонт обоих узлов. На рис. 3 представлен граф состояния системы.

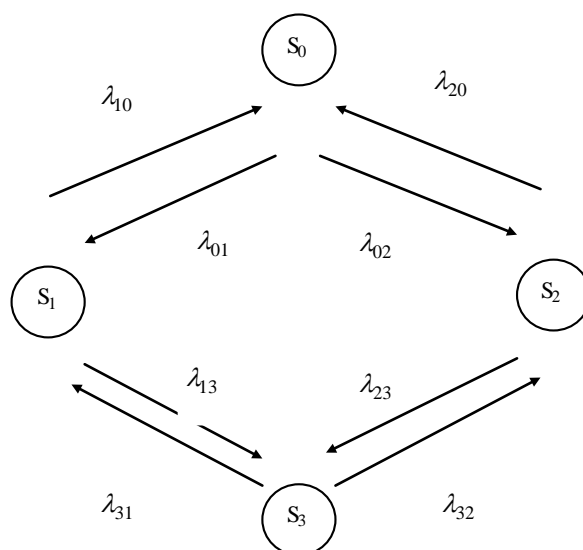


Рис. 3. Граф состояния системы

Fig. 3. Graph of system state

Переход по дуге из состояния  $S_0$  в  $S_1$  обозначает переход в момент отказа первого узла,  $S_1$  в  $S_0$  переход в момент окончания ремонта первого узла. Отсутствие на графе стрелок из  $S_0$  в  $S_3$ , из  $S_1$  в  $S_2$  объясняется тем, что выходы узлов не зависят друг от друга. Процесс поступления в обслуживаемую систему требований (заявок) о ремонте является вероятностным процессом, который представляет собой поток однородных или неоднородных событий, поступающих в систему через случайные промежутки времени. Интенсивность стационарного потока является величиной постоянной и равна  $\lambda(t) = \lambda$ . Поток событий называется потоком без последствий, если для любых двух непересекающихся участков

времени  $\tau_1$  и  $\tau_2$  - число событий, попадающих на один из них, не зависит от числа событий, попадающих на другие. Распределение вероятности для потока будет следующим:  $p_n(\tau), n = 0, 1, \dots, k$ .

Для любого промежутка времени  $\tau$  вероятность составит:  

$$p_0(\tau) + p_1(\tau) + \dots + p_k(\tau) + \dots = 1.$$

Кроме того, для промежутка  $\Delta t$ :  $p_0(\Delta t) + p_1(\Delta t) + \dots + p_k(\Delta t) + \dots = 1$ . По предположению об ординарности при  $(\Delta t) \rightarrow dt$  величины  $p_k(\Delta t)$ ,  $k = 2, 3, \dots$  бесконечно малые по сравнению с  $(\Delta t)$ , и потому  $p_0(dt) + p_1(dt) = 1$ .

Так как  $p_1(dt) = \lambda dt$ , то  $p_1(dt) = \lambda dt$ .

Вычислим теперь вероятность  $p_n(\tau+dt)$  того, что в интервале  $\tau+dt$  произойдет  $n$  событий  $E$ . Для того, чтобы в интервале  $\tau+dt$  событие  $E$  произошло  $n$  раз, должен осуществиться один из взаимоисключающих случаев:

1)  $n$  событий  $E$  в интервале  $\tau$  и 0 событий  $E$  в интервале  $d\tau$ , следующем непосредственно за  $\tau$ , вероятность этого случая  $p_n(\tau)(1-\lambda d\tau)$ ;

2)  $(n-1)$  событий  $E$  в интервале  $\tau$  и одно событие в интервале  $d\tau$ , соответствующая вероятность равна  $p_{n-1}(\tau)(1-\lambda d\tau)$ .

$$\frac{p_n(\tau+d\tau)-p_n(\tau)}{d\tau} = \frac{dp_n(\tau)}{d\tau} - \lambda p_n(\tau) + \lambda p_{n-1}(\tau) = -\lambda [p_n(\tau) - p_{n-1}(\tau)], \quad \text{где } n = 1, 2, \dots \quad (2)$$

Если  $n=0$ , то из (1), с учетом того, что  $p_{-1}(\tau)=0$ , получим

$$\frac{dp_0(\tau)}{d\tau} = p_0(\tau) = -\lambda p_0(\tau) \quad (3)$$

Дифференциальные уравнения (2), (3) описывают состояния простейшего потока. Дополним их очевидными начальными условиями:  $p_0(0)=1, p_n(0)=0, n=1, 2, \dots$  и получим  $p_0(\tau)=e^{-\lambda\tau}$ . Используем преобразование Лапласа-Карсона.

$$\begin{aligned} p_0(\tau) &= e^{-\lambda\tau}; \\ p_1(\tau) &= \frac{\lambda\tau e^{-\lambda\tau}}{1!}, \dots, \\ p_n(\tau) &= \frac{(\lambda\tau)^n e^{-\lambda\tau}}{n!} \end{aligned} \quad (4)$$

Получено распределение Пуассона, причем величина  $\lambda\tau$  есть среднее число событий  $E$  в интервале  $\tau$ . Таким образом, ординарный поток заявок без последствий описывается распределением (законом) Пуассона.

В соответствии с законом (распределением) Пуассона, вероятность попадания на элементарный отрезок времени  $\Delta t$  хотя бы одного события потока равна [18, С. 267]:

$$p_{\Delta t} = P(T < t) = 1 - e^{-\lambda\Delta t} \approx \lambda\Delta t \quad (5)$$

$$p_0(t+\Delta t) = p_1(t)\lambda_{10}\Delta t + p_2(t)\lambda_{20}\Delta t + p_0(t)[1 - (\lambda_{01} + \lambda_{02})\Delta t], \text{ откуда}$$

$$\frac{p_0(t+\Delta t) - p_0(t)}{\Delta t} = p_1(t)\lambda_{10} + p_2(t)\lambda_{20} - p_0(t)(\lambda_{01} + \lambda_{02})$$

Таким образом, по формуле полной вероятности:  $p_n(\tau+dt) = p_n(\tau)(1-\lambda d\tau) + p_{n-1}(\tau)(1-\lambda d\tau) + O(d\tau)$ , где  $O(d\tau)$  — бесконечно малые высшего порядка по сравнению с  $d\tau$ .

$$p_n(\tau+dt) - p_n(\tau) = -\lambda p_n(\tau)d\tau + \lambda p_{n-1}(\tau)d\tau \quad (1)$$

или

Для любого момента  $t$  сумма вероятностей

$$\text{всех состояний равна единице: } \sum_{i=0}^3 p_i(t) = 1$$

Рассмотрим систему в момент  $t$  и, задав малый интервал времени  $\Delta t$ , найдем вероятность  $p_0(t+\Delta t)$  того, что система в момент  $t+\Delta t$  будет находиться в состоянии  $S_0$ . Это достигается разными способами.

1. Система в момент  $t$  с вероятностью  $p_0(t)$ , находясь в состоянии  $S_0$  и за время  $\Delta t$ , не вышла из него. Вывести систему из этого состояния можно суммарным простейшим потоком с интенсивностью  $(\lambda_{01} + \lambda_{02})$ , т.е. с вероятностью приближенно равной  $(\lambda_{01} + \lambda_{02})\Delta t$ . Вероятность же того, что система не выйдет из состояния  $S_0$ , равна по теореме умножения вероятностей  $p_0(t) [1 - (\lambda_{01} + \lambda_{02})\Delta t]$ .

2. Система в момент  $t$  с вероятностями  $p_1(t)$  (или  $p_2(t)$ ) находилась в состоянии  $S_1$  (или  $S_2$ ) и за время  $\Delta t$  перешла в состояние  $S_0$ . Поток, интенсивностью  $\lambda_{10}$  (или  $\lambda_{20}$  как следует из рис. 10.1) система перейдет в состояние  $S_0$  с вероятностью приближенно равной  $\lambda_{10}\Delta t$  (или  $\lambda_{20}\Delta t$ ). Вероятность того, что система будет находиться в состоянии  $S_0$  по этому способу, равна  $p_1(t)\lambda_{10}\Delta t$  (или  $p_2(t)\lambda_{20}\Delta t$ ). Применяя теорему сложения вероятностей, получим

Переходя к пределу в левой части последнего равенства получим:

$$p'_0(t) = \lambda_{10}p_1(t) + \lambda_{20}p_2(t) - (\lambda_{01} + \lambda_{02})p_0(t).$$

Рассуждая аналогично для других состояний системы  $S$ , получим систему дифференциальных уравнений, которая носит название системы дифференциальных уравнений Колмогорова для вероятностей состояний

$$\begin{cases} p'_0(t) = \lambda_{10}p_1(t) + \lambda_{20}p_2(t) - (\lambda_{01} + \lambda_{02})p_0(t) \\ p'_1(t) = \lambda_{01}p_0(t) + \lambda_{31}p_3(t) - (\lambda_{10} + \lambda_{13})p_1(t) \\ p'_2(t) = \lambda_{02}p_0(t) + \lambda_{32}p_3(t) - (\lambda_{20} + \lambda_{23})p_2(t) \\ p'_3(t) = \lambda_{13}p_1(t) + \lambda_{23}p_2(t) - (\lambda_{31} + \lambda_{32})p_3(t) \end{cases} \quad (6)$$

Так, в начальный момент времени  $t = 0$  оба узла исправны и система находится в состоянии  $S_0$ , т.е. при начальном условии  $p_0(0) = 1$ ,  $p_1(0) = p_2(0) = p_3(0) = 0$ .

Так как предельные вероятности постоянны, то, заменяя в уравнениях Колмогорова их производные нулевыми значениями, получим систему линейных алгебраических уравнений, описывающих стационарный режим. Для системы  $S$  с графом состояний, изображенном на рис. 3, такая система уравнений имеет вид

$$\begin{cases} (\lambda_{01} + \lambda_{02})p_0 = \lambda_{10}p_1 + \lambda_{20}p_2 \\ (\lambda_{10} + \lambda_{13})p_1 = \lambda_{01}p_0 + \lambda_{31}p_3 \\ (\lambda_{20} + \lambda_{23})p_2 = \lambda_{02}p_0 + \lambda_{32}p_3 \\ (\lambda_{31} + \lambda_{32})p_3 = \lambda_{13}p_1 + \lambda_{23}p_2 \end{cases} \quad (7)$$

Система (7) может быть получена непосредственно по размеченному графу состояний, если руководствоваться правилом, согласно которому в левой части уравнений стоит предельная вероятность данного состояния  $p_i$ , умноженная на суммарную интенсивность всех потоков, входящих в  $i$ -е состояние, на вероятности тех состояний, из которых эти потоки исходят.

Найдем предельные вероятности для системы, граф состояний которого изображен на рис. 3 при условии, что

$\lambda_{01} = 1 \text{ мес.}$ ,  $\lambda_{02} = 2 \text{ мес.}$ ,  $\lambda_{10} = 2 \text{ мес.}$ ,  $\lambda_{13} = 2 \text{ мес.}$ ,  $\lambda_{20} = 3 \text{ мес.}$ ,  $\lambda_{23} = 2 \text{ мес.}$ ,  $\lambda_{31} = 2 \text{ мес.}$ ,  $\lambda_{32} = 2 \text{ мес.}$ . Система алгебраических уравнений для этого случая согласно (7) имеет вид:

$$\begin{cases} 3p_0 = 2p_1 + 3p_2 \\ 4p_1 = p_0 + 3p_3 \\ 4p_2 = 2p_0 + 2p_3 \\ p_0 + p_1 + p_2 + p_3 = 1 \end{cases} \quad (8)$$

Решив линейную систему уравнений, получим  $p_0 = 0,4$ ;  $p_1 = 0,2$ ;  $p_2 = 0,27$ ;  $p_3 = 0,13$ ; т.е. в предельном стационарном режиме система  $S$  в среднем 40% времени будет находиться в состоянии  $S_0$  (оба узла исправлены), 13% времени в состоянии  $S_1$  (первый узел ремонтируется, второй работает), 27% — в состоянии  $S_2$  (второй узел ремонтируется, первый работает) и 13% в состоянии  $S_3$  (оба узла ремонтируются).

Определим чистый доход от эксплуатации в стационарном режиме рассмотренной системы  $S$  в условиях, что в единицу времени исправная работа узла один и узла два приносит доход соответственно 150 и 90 тысяч рублей, а их ремонт (O&O cost) требует соответственно затрат 60 и 30 тысяч рублей. Оценим экономическую эффективность имеющейся возможности уменьшения вдвое среднего времени ремонта каждого из двух узлов, если при этом придется вдвое увеличить затраты на ремонт каждого узла (в единицу времени).

Для решения этой задачи с учетом полученных значений  $p_0, p_1, p_2, p_3$  определим долю времени исправной работы первого узла, т.е.  $p_0 + p_3 = 0,4 + 0,27 = 0,67$  и долю времени исправной работы второго узла  $p_0 + p_1 = 0,4 + 0,2 = 0,6$ . В то же время первый узел находится в ремонте в среднем времени равную  $p_1 + p_3 = 0,2 + 0,13 = 0,33$ , а второй узел  $p_2 + p_3 = 0,27 + 0,13 = 0,40$ . Поэтому средний чистый доход в единицу времени от эксплуатации системы равен:

$$D = 0,67 * 150 + 0,6 * 90 - 0,33 * 60 - 0,4 * 30 = 100,05 + 5,4 - 19,8 - 12 = 122,7 \text{ тысяч рублей.}$$

С учетом затрат при росте интенсивности потока в 2 раза: 120 тысяч рублей и 60 тысяч рублей.

$$D_1 = 0,8 * 150 + 0,75 * 90 - 0,2 * 120 - 0,25 * 60 = 120 + 67,5 - 24 - 15 = 148,5 \text{ тысяч рублей.}$$

Т.к.  $D_1 > D$  на 21%, то при уменьшении в 2 раза времени ремонта и увеличении в 2 раза затрат на ремонт (O&O cost), доход от исправных узлов увеличивается на 21%, что подтверждает экономическую целесообразность проведения ремонта.

Применение данного распределения и уравнения Колмогорова, позволяет оценить экономическую целесообразность ремонта средств механизации или отдельных комплектов.

## ВЫВОДЫ

В данной работе решена научно-практическая задача, посвященная исследованию влияния совокупности факторов на процесс воспроизводства средств механизации строительных организаций. Рассмотрены две альтернативы их воспроизводства: экономическая целесообразность обновления или увеличения затрат на ремонт, при одновременном ускорении темпов их ремонта.

Установлено, что отечественные ученые, при формировании комплектов средств механизации, исследуют три метода: создание парка машин и механизмов для удовлетворения собственных потребностей строительной организации; лизинг отсутствующих средств механизации; возможности предоставления незанятых в производственном процессе машин и механизмов в аренду.

Зарубежные исследователи сформировали концептуальные основы экономики средств механизации, в частности *Equipment Economics*, в которой основное внимание уделяется исследованию влияния на величину прибыли инвестора расходов на владение и эксплуатацию средств механизации (O&O cost).

Обосновано влияние шести групп факторов, на процессы воспроизводства строительных организаций: организационные, технологические, технические, климатические, нормативные, социальные. Учет совокупности факторов, влияющих на формирование потребностей строительных организаций в средствах механизации, позволят принимать правильные управленческие решения, определять потребности в приобретении или ремонте средств механизации.

В основе расчетов потребности и проведения ремонтных работ средств механизации могут лежать методы детерминированные методы расчета и методы теории массового обслуживания. Использование инструментария теории обслуживания позволило доказать целесообразность увеличения темпов проведения ремонта средств механизации, при одновременном росте O&O cost.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анферов В.Н., Васильев С.И., Кузнецов С.М.. Обоснование надежности работы строительных машин: монография. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. 164 с.

2. Воробьев В.А., Примак Л.В., Кононыхин Б.Д. Проблема комплексной автоматизации земельной промышленности, пути и результаты её решения // Известия вузов. Строительство. 2003. № 3. С. 57- 62.

3. Кудрявцев Е.М. Комплексная механизация строительства. М.: АСВ, 2005. 424 с.

4. Кузнецов С.М., Круглов А.И., Маслов И.А. Формирование ресурсосберегающих комплектов строительных машин // Строительные и дорожные машины. 2007. № 8. С. 28 -31.

5. Кузнецов С.М. Теория и практика формирования комплектов и систем машин в строительстве: монография. М.: Берлин, Директ-Медиа, 2015. 271 с.

6. Репин С.В. Концепция эффективности эксплуатации строительных машин // Строительные и дорожные машины. 2007. № 2. С. 27 - 31.

7. Семенченко А.В. Выбор оптимальных вариантов эксплуатации парка строительных и дорожных машин // Строительные и дорожные машины, 2003. №4. С. 16-17

8. Шаленный В.Т., Кислица Л.В. Оценка сравнительной эффективности возможных способов механизации монтажа стальных силосов диаметром 22.15 м методом подрачивания // Строительство и техногенная безопасность. 2013. № 47. С. 86-93.

9. Яблонский А.А. Проектирование оптимальной структуры комплексно-механизированных строительных процессов // Механизация строительства. 2006. № 5. С. 13- 16.

10. Peurifoy, R. L., Schexnayder, C. J., and Shapira, A. "Construction Planning, Equipment, and Methods", 7th Ed., McGraw-Hill, 2006. 768 p.

11. Shapira, A. "Equipment for Concrete Building Construction", CRC Press, 2008. 54 p.

12. Nawy E. G. "Concrete Construction Engineering Handbook", 2nd Ed., CRC Press, 2008. 1584 p.

13. СН 494-77 Нормы потребности в строительных машинах – М.: Стройиздат, 1977. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901708997> (дата обращения: 24.02.2018)

14. СНиП 5.02.02-86 Нормы потребности в строительном инструменте. – М.: Стройиздат, 1986. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003392> (дата обращения: 24.02.2018)

15. Методическое пособие по определению потребности в основных строительных машинах / ЦНИИОМТП. – М.: Стройиздат, 1989. – 47 с.

16. Федеральная служба государственной статистики Режим доступа: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc\\_1138716432453](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1138716432453)
17. Репин С.В., Савельев А.В. Механизация строительных работ и проблемы, связанные с использованием строительной техники. Режим доступа: <http://library.stroit.ru/articles/mehanizm/index.html> (дата обращения: 24.02.2018)
18. Косоруков О.А., Мищенко А.В. Исследование операций. М.: «Экзамен», 2003. 448 с.
19. Холщевников В.В. Что моделируем с использованием теории массового обслуживания // Пожаровзрывобезопасность. 2003. № 2. С. 39-40.
20. Солнышкина И.В. Теория систем массового обслуживания. Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2015. 76 с.
21. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. М.: Статистика, 1977. 200 с.
22. Севрюгина Н.С., Капырин П.Д. Эффективность выбора средств механизации строительных и специальных строительных работ // Механизация строительства. 2017. Т. 78. № 11. С. 59-64.
23. Тускаева З.Р. Оптимизация состава парка строительных машин // Транспортное дело России. 2014. № 6-2. С. 34-35.
7. Semenchenko A.V. Choice of optimal variants of operation of the park of construction and road cars // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny, 2003. No. 4. pp. 16-17 (In Russian)
8. Shalenny V.T., Kislitsa L.V. Otsenka of comparative efficiency of possible ways of mechanization of installation of steel silos with a diameter of 22.15 m by a podrashchivaniye method // Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost'. 2013. No. 47. pp. 86-93. (In Russian)
9. Yablonsky A.A. Design of optimum structure of the complex mechanized construction processes // Mehanizacija stroitel'stva. 2006. No. 5. pp. 13 - 16. (In Russian)
10. Peurifoy, R. L., Schexnayder, C. J., and Shapira, A. "Construction Planning, Equipment, and Methods", 7th Ed., McGraw-Hill, 2006. 768 p.
11. Shapira, A. "Equipment for Concrete Building Construction", 2008. 54 p.
12. Nawy E. G. "Concrete Construction Engineering Handbook", 2nd Ed., CRC Press, 2008. 1584 p.
13. CN 494-77 Standard of need for construction cars. – М.: Stroyizdat, 1977. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/901708997> (date of the address: 2/24/2018) (In Russian)
14. Construction Norms and Regulations 5.02.02-86 Norma of the need for the construction tool. – М.: Stroyizdat, 1986. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/1200003392> (date of the address: 2/24/2018) (In Russian)
15. A methodical grant by definition of need for the main construction cars / TsNIIOMTP. – М.: Stroyizdat, 1989. 47 p. (In Russian)
16. Federal State Statistics Service access Mode: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc\\_1138716432453](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1138716432453) (In Russian)
17. Repin S.V., Savelyev A.V. The mechanization of construction works and problems connected with use of the construction equipment. Access mode: <http://library.stroit.ru/articles/mehanizm/index.html> (date of the address: 2/24/2018) (In Russian)
18. Kosorukov O.A., Mishchenko of A.V. Research of operations. М.: "Examination", 2003. 448 p. (In Russian)
19. Holshchevnikov V.V. What we model with use of the theory of mass service // Pozharovzryvobezopasnost'. 2003. No. 2. pp. 39-40. (In Russian)

## REFERENCES

1. Anferov V.N., Vasilyev S.I., Kuznetsov S.M. Justification of reliability of operation of construction machines: monograph. Krasnoyarsk: Sib. feeder. un-t, 2014. 164 p. (In Russian)
2. Vorobyov V. A., Primak L.V., Kononykhin B.D. Problema of complex automation of digging processes, ways and results of her decision // Izvestija vuzov. Stroitel'stvo. 2003. № 3. S. 57- 62. (In Russian)
3. Kudryavtsev E.M. Complex mechanization of construction. М.: АСВ, 2005. 424 p. (In Russian)
4. Kuznetsov S. M., Kruglov A.I., Maslov I.A. Formation of resource-saving sets of construction cars // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2007. No. 8. pp. 28 - 31. (In Russian)
5. Kuznetsov S.M. The theory and practice of formation of sets and the systems of cars in construction: monograph. М.: Berlin, Direkt-media, 2015. 271 p. (In Russian)
6. Repin S.V. Concept of efficiency of operation of construction cars // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2007. No. 2. pp. 27 - 31. (In Russian)

20. Solnyshkina I.V. Theory of systems of mass service. Komsomolsk-on-Amur: FGBOU VPO of "KNAGTU", 2015. 76 p. (In Russian)

21. Chetyrkin E.M. Statistical methods of forecasting. M.: Statistics, 1977. 200 p. (In Russian)

22. Sevryugina N.S., Kapyrin P.D. The choice effectiveness of means of mechanization of

construction and special construction works// Mehanizacija stroitel'stva. 2017. T. 78. No. 11. pp. 59-64. (In Russian)

23. Tuskayeva Z.R. Optimization of structure of the park of construction cars// Transportnoe delo Rossii. 2014. No. 6-2. pp. 34-35. (In Russian)

## ABOUT NECESSITY TO TAKE ACCOUNT THE FACTORS WHICH INFLUENCE THE REPRODUCTION OF MECHANIZATION MEANS OF CONSTRUCTION COMPANY

Tsopa N.V.

**Summary** This article is devoted to the revision of the influence a set of factors on the process of reproduction of mechanization of construction companies. There were considered two alternatives for reproduction: update, repair.

**Key words:** mechanization of building organizations, mechanization, methods, mechanization, factors of mechanization, the reproduction process, upgrade, repair, Equipment Economics, O&O cost.

УДК 692.48+539.3/.6

УЧЁТ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ ПРОГИБОВ БАЛОК С ПОМОЩЬЮ  
ИНТЕГРАЛА МОРА

Маслак А.С., Попов А.Г., Литвинова Э.В.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)

ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,

295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181

E-mail: asm2@mail.ru, agp-51@mail.ru, ella\_litvinova\_2015@mail.ru

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы учёта и исследования зависимостей величины максимальных прогибов статически определимых балок от действия поперечных сил при различных видах нагружения, различных способах закрепления и формах поперечного сечения. Определено различие между классической теорией изгиба балок и теорией Тимошенко С.П., предложившим учитывать при определении деформаций часть перемещений, вызванную явлением сдвига. Построены графики влияния различных факторов на величину относительной погрешности при вычислении максимального прогиба по классической теории изгиба и с учётом действия поперечных сил. Составлена таблица поправочных коэффициентов для уточнения величин максимальных прогибов определённым традиционным способом, учитывающим только деформации, связанные с изгибающим моментом.

**Ключевые слова:** статически определимые балки, прогибы, уточнение вычисления прогибов, уравнение Максвелла–Мора, метод Тимошенко.

## ВВЕДЕНИЕ

При расчете конструкций на жесткость при поперечном изгибе величина перемещений точек системы зависит от многих факторов: вида расчетной схемы (опорные связи и нагрузки), свойств материала конструкций, геометрических характеристик поперечных сечений элементов конструкций, внутренних усилий, возникающих в поперечных сечениях при нагружении, и т.д. При определении прогибов балок в большинстве случаев учитывают только изгибающий момент, а поперечной силой пренебрегают. Цель данной работы – установить влияние поперечной силы на величину прогиба.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ И МЕТОДОВ

Изгиб элементов конструкций редко бывает чистым, обычно возникает поперечный изгиб, при котором в поперечных сечениях изгибаемых элементов возникают нормальные  $\sigma$  и касательные  $\tau$  напряжения. Эти напряжения интегрально связаны с внутренними усилиями – изгибающим моментом  $M$  и поперечной силой  $Q$  [1–3]. Точные значения напряжений и деформаций, возникающих в материале балки, позволяют определить методы теории упругости [4–7]. Хотя эти подходы и точны, но, как правило, являются довольно сложными и

непрактичными при определении прогибов балок. Метод определения прогибов балок, предложенный С.П. Тимошенко [8], предполагает рассматривать полный прогиб балки  $Y$  как сумму прогибов, рассматриваемых классической теорией изгиба и обусловленных возникающим в сечении изгибающим моментом  $Y_M$  и прогибом, обусловленным только деформациями поперечного сдвига  $Y_Q$ , вызванного поперечной силой  $Q$ :

$$Y = Y_M + Y_Q.$$

Вертикальные перемещения оси балки при прямом поперечном изгибе можно определять при помощи интеграла Мора. При решении плоской задачи, интеграл Мора имеет вид:

$$\begin{aligned} \Delta_{mn} = & \sum \int_0^L \overline{M}_m \cdot \frac{M_n \cdot dx}{EI_z} + \\ & + \sum \int_0^L \overline{N}_m \cdot \frac{N_n \cdot dx}{EF} + \\ & + \sum \int_0^L \overline{Q}_m \cdot \frac{Q_n \cdot dx}{GF} \cdot \eta \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\Delta_{mn}$  – перемещение по направлению «силы»  $P_m = 1$ , вызванное действием нагрузки  $n$  (группы «сил»  $n$ );

$\overline{M}_m$  и  $M_n$  – соответственно единичный и действительный изгибающие моменты;

$\bar{N}_m$  и  $N_n$  – единичная и действительная продольные силы;

$\bar{Q}_m$  и  $Q_n$  – единичная и действительная поперечные силы;

$\eta$  – коэффициент распределения касательных напряжений по сечению, зависящий от формы поперечного сечения балки.

В случае прямого поперечного изгиба, статически определимых балок, в соответствии с классической теорией балок, рассматриваемой в сопротивлении материалов, продольные силы отсутствуют, интеграл Максвелла–Мора принимает вид:

$$Y = \sum \int_0^L \bar{M}_1 \cdot \frac{M_p \cdot dx}{EI_z} + \sum \int_0^L \bar{Q}_1 \cdot \frac{Q_p \cdot dx}{GF} \cdot \eta \quad (2)$$

На практике, при вычислении прогибов балок, составляющая прогиба от поперечных сил не учитывается, а вычисляются прогибы, обусловленные изгибом [9–10].

Целью данной работы является определение влияния прогиба, вызванного сдвигом, т.е. действием поперечных сил и уточнение величины прогибов в зависимости от формы и размеров поперечного сечения балки, типа её закрепления и характера нагрузки.

При действии на длинные балки постоянной жёсткости нагрузок общего типа разница прогибов с учётом поперечной силы и без неё пренебрежимо мала – меньше 2%. Однако эта ошибка может оказаться серьезной, если балка короткая или на нее действуют приложенные на небольшом расстоянии друг от друга силы, противоположные по направлению.

Хорошую аппроксимацию точных значений перемещений можно получить с помощью сравнительно простой поправки к классической теории балок.

Для выяснения влияния формы поперечного сечения балки на величину максимального

прогиба, рассмотрим балку на шарнирных опорах круглого, прямоугольного и двутаврового поперечного сечения, нагруженную сосредоточенной силой в середине балки (схема 1):

1) для того, чтобы вывести формулу полного прогиба, найдем значения изгибающих моментов и поперечных сил для балок в данной схеме:

$$Y = \frac{1}{EI} \cdot \left( \int_0^{L/2} \frac{Fx}{2} \cdot \frac{x}{2} dx + \int_{L/2}^L \frac{F(L-x)}{2} \cdot \frac{(L-x)}{2} dx \right) + \frac{1}{EA} \cdot \left( \int_0^{L/2} \frac{F}{2} \cdot \frac{1}{2} dx + \int_{L/2}^L -\frac{F}{2} \cdot \left(-\frac{1}{2}\right) dx \right) \cdot \eta \quad (3)$$

2) согласно расчётам, приведённым в источнике 1, коэффициент распределения касательных напряжений по двутавровому сечению

$$\eta = \frac{A}{A_{\text{стенки}}},$$

где  $A$  – площадь поперечного сечения двутавра;

$A_{\text{стенки}}$  – площадь поперечного сечения стенки двутавра;

для круглого сечения  $\eta = \frac{10}{9}$  и для прямоугольного  $\eta = 1,2$ .

Вычислим составляющие прогиба, вызванные изгибом  $\Delta M$  и сдвигом  $\Delta Q$ . Построим графики зависимости  $\frac{\Delta M}{\Delta Q} \cdot 100\%$  от величины приведённой длины балки  $k$ , равной отношению длины балки  $L$  к высоте поперечного сечения  $h$ ;  $k = \frac{L}{h}$  (рис. 1). Принимаем  $h$  одинаковым для всех сечений балки.

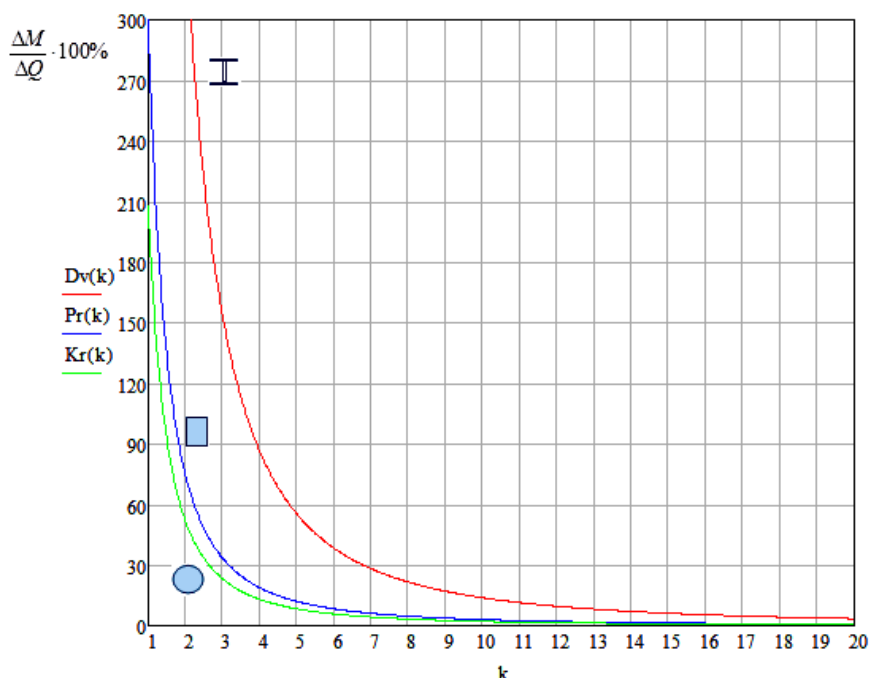


Рис 1. Погрешность  $\frac{\Delta M}{\Delta Q} \cdot 100\%$  в прогибах балки прямоугольного, круглого и двутаврового сечений

На построенных графиках (рис. 1) видно, что наибольшее влияние поперечные силы оказывают при вычислении прогиба двутавровой балки, т. е. чем более тонкостенный профиль поперечного сечения, тем большее влияние деформации сдвига оказывают на величину полного прогиба. В дальнейшем рассмотрим именно такие сечения балок.

Определим прогибы для простых случаев нагружения двутавровых балок и построим графики зависимости  $\Delta Q/\Delta M$  в % от  $k$ , где  $k = \frac{L}{h}$  ( $h$  – высота поперечного сечения двутавровой балки)

Рассмотрим следующие схемы нагружения

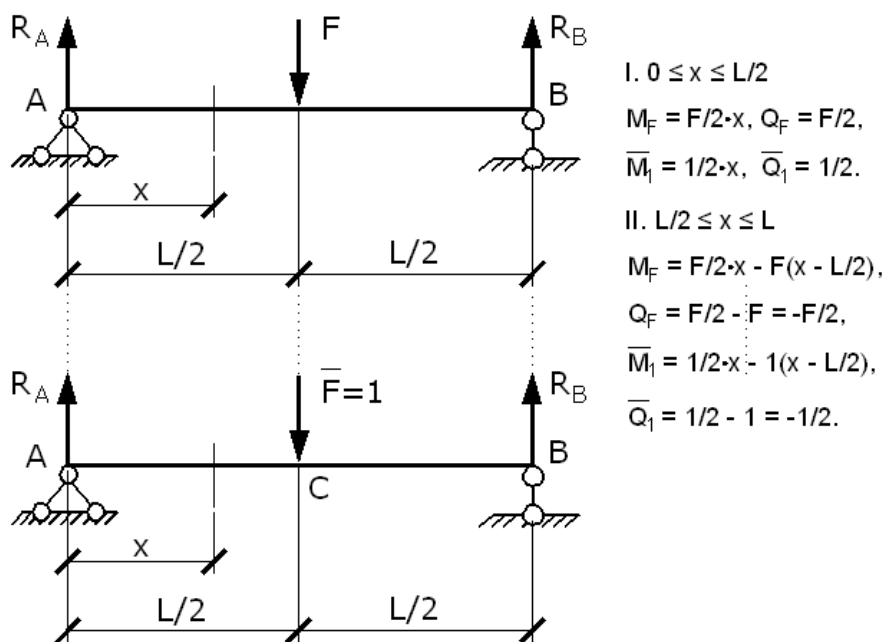


Схема 1

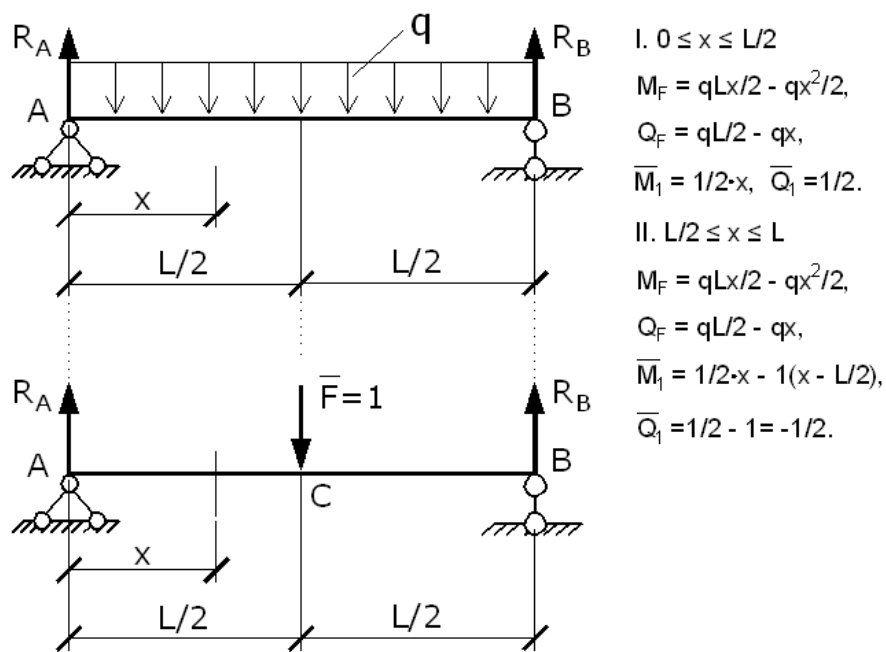


Схема 2

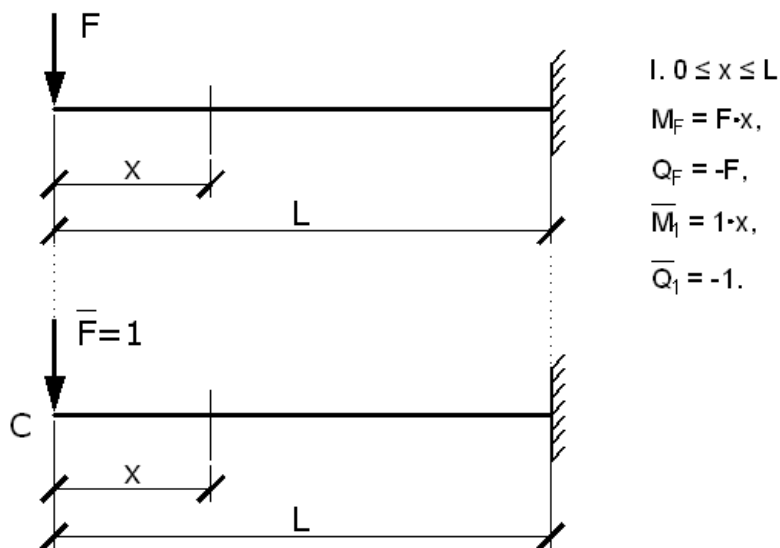


Схема 3

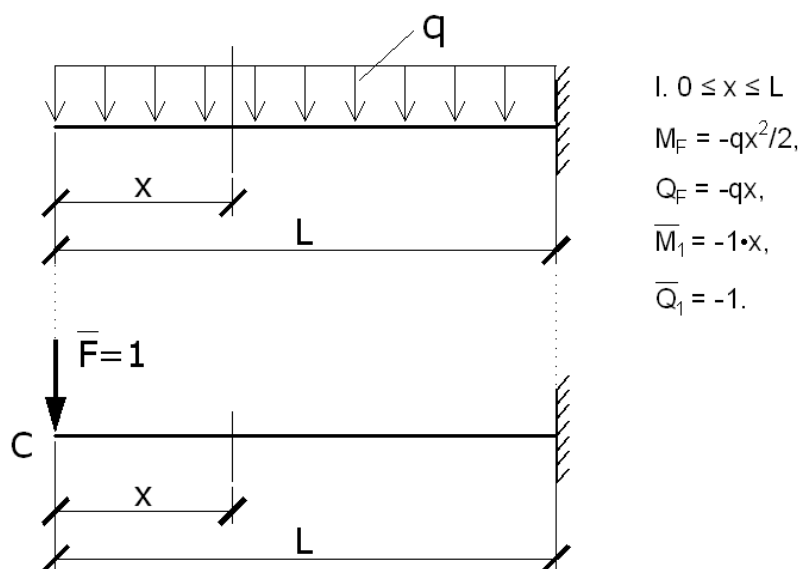


Схема 4

Схемы нагружения 1 и 2 – балка расположена на двух шарнирных опорах: в первом случае сосредоточенная сила, приложена в середине, а во втором – на всей длине балки равномерно распределенная нагрузка.

Схемы нагружения 3 и 4 – балка жестко закреплена: в одном случае на свободном конце приложена сосредоточенная сила, в другом – на всей длине балки действует распределенная нагрузка.

Для каждого случая, найдены значения изгибающих моментов и поперечных усилий от единичной силы и от действительной нагрузки, как это было сделано для случая с сосредоточенной силой.

После аналогичных расчетов мы получаем соответствующие значения прогибов для каждой схемы:

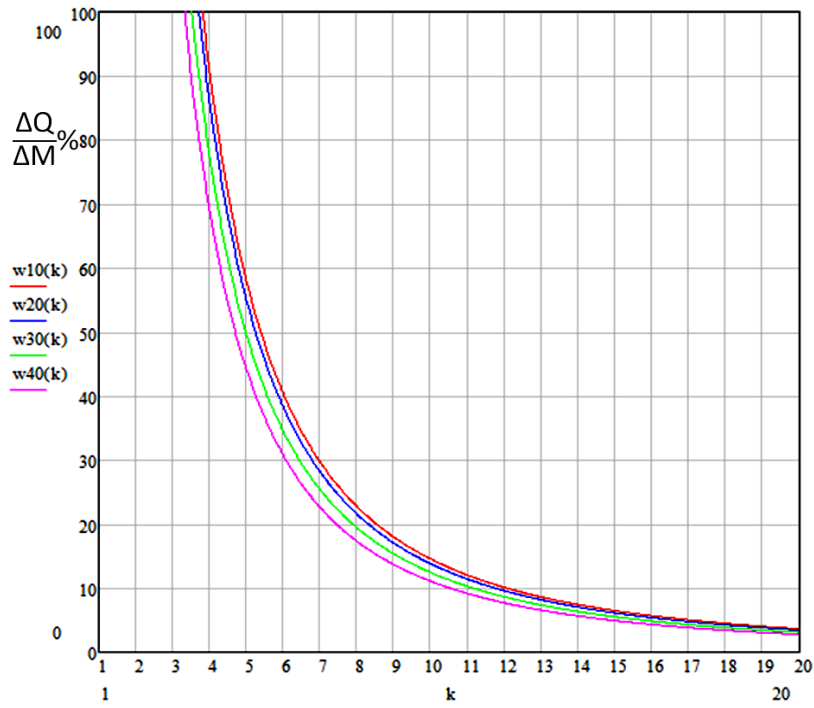
$$\begin{aligned}
 Y_1 &= \frac{F \cdot L^3}{48EI_z} + \frac{F \cdot L}{4GA} \cdot \eta; \\
 Y_2 &= \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384EI_z} + \frac{q \cdot L^2}{8GA} \cdot \eta; \\
 Y_3 &= \frac{F \cdot L^3}{3EI_z} + \frac{F \cdot L}{GA} \cdot \eta; \\
 Y_4 &= \frac{q \cdot L^4}{8EI_z} + \frac{q \cdot L^2}{2GA} \cdot \eta;
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Рассмотрим влияние размеров поперечного сечения на величину погрешности  $\frac{\Delta M}{\Delta Q} \cdot 100\%$  при различных видах нагружения и закрепления балок.

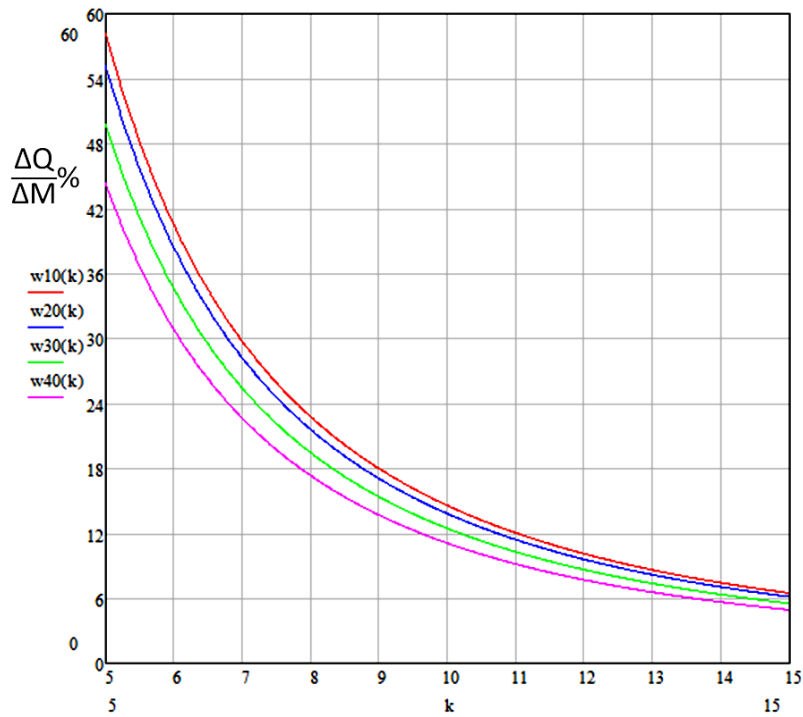
Т. к. в уравнениях (4) параметры  $F, q, L, E, G, I_z, A, \eta$  – постоянные и одинаковые для всех участков балки и зависят от исходных данных: упругих свойств материала; геометрии поперечного сечения; вида нагрузки и места определения прогиба, относительная погрешность определения прогиба за счет сдвига может быть записана для каждого рассматриваемого случая в следующем виде, учитывая, что  $L = kh$ :

$$\begin{aligned}
 1. \quad \frac{\Delta Q_1}{\Delta N_1} &= \frac{FL \cdot \eta \cdot 48EI_z}{4GA \cdot FL^2} = \\
 &= 12 \cdot \frac{E}{G} \cdot \frac{I_z}{A} \cdot \frac{\eta}{L^2} = 12 \cdot \frac{E}{G} \cdot \frac{I_z}{A} \cdot \frac{\eta}{h^2} \cdot \frac{1}{k^2}; \\
 2. \quad \frac{\Delta Q_2}{\Delta N_2} &= \frac{qL^2 \cdot \eta \cdot 384EI_z}{8GA \cdot 5qL^4} = \\
 &= 9.6 \cdot \frac{E}{G} \cdot \frac{I_z}{A} \cdot \frac{\eta}{L^2} = 9.6 \cdot \frac{E}{G} \cdot \frac{I_z}{A} \cdot \frac{\eta}{h^2} \cdot \frac{1}{k^2}; \\
 3. \quad \frac{\Delta Q_3}{\Delta N_3} &= \frac{FL \cdot \eta \cdot 3EI_z}{GA \cdot FL^3} = 3 \cdot \frac{E}{G} \cdot \frac{I_z}{A} \cdot \frac{\eta}{L^2} = \\
 &= 3 \cdot \frac{E}{G} \cdot \frac{I_z}{A} \cdot \frac{\eta}{h^2} \cdot \frac{1}{k^2}; \\
 4. \quad \frac{\Delta Q_4}{\Delta N_4} &= \frac{qL^2 \cdot \eta \cdot 8EI_z}{2GA \cdot qL^4} = 4 \cdot \frac{E}{G} \cdot \frac{I_z}{A} \cdot \frac{\eta}{L^2} = \\
 &= 4 \cdot \frac{E}{G} \cdot \frac{I_z}{A} \cdot \frac{\eta}{h^2} \cdot \frac{1}{k^2}.
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

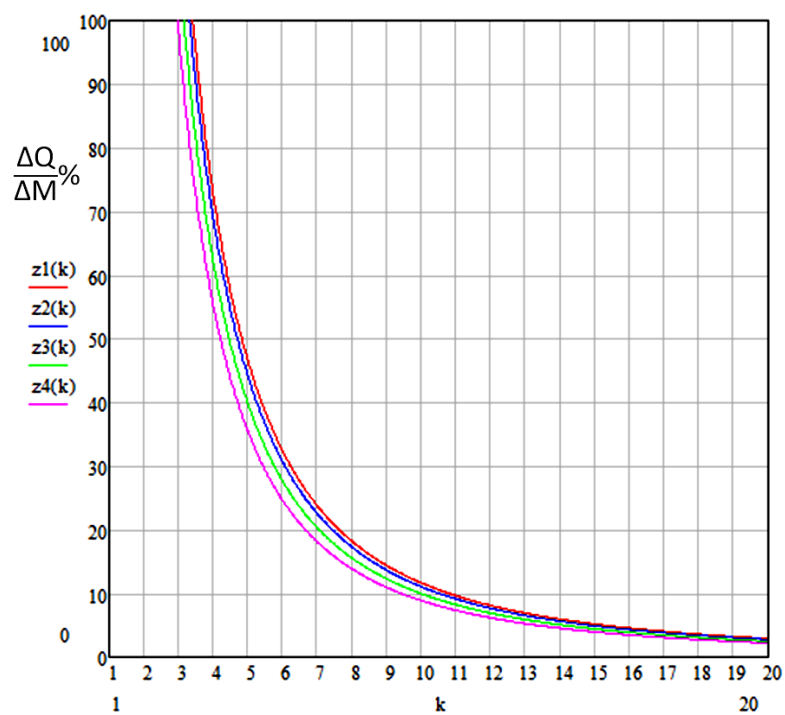
Взяв нужные геометрические характеристики сечений двутавров (ГОСТ 8239–89) №№ 10, 20, 30, 40, Ст.3:  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа;  $G = 8 \cdot 10^4$  МПа, построим интересные нас графики.



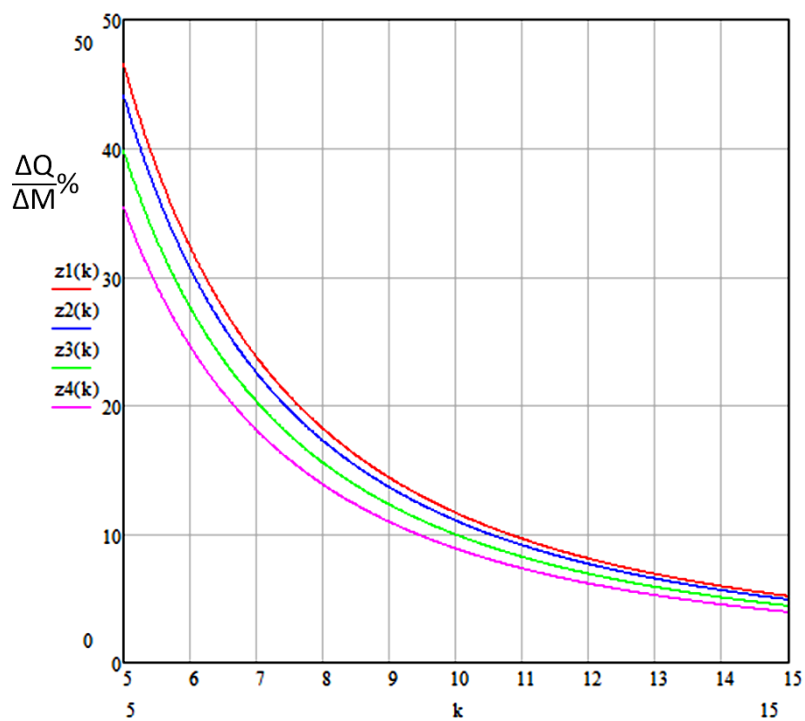
а



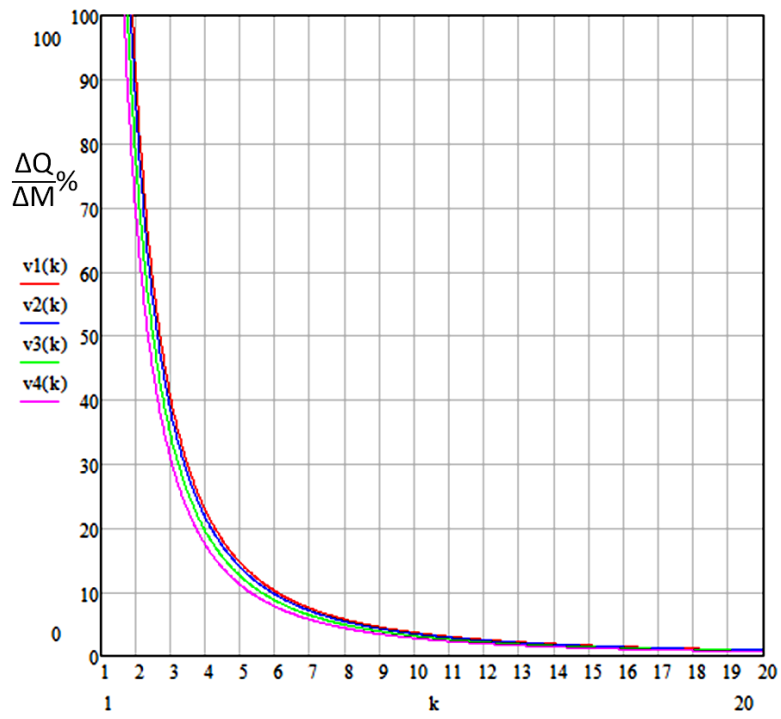
б



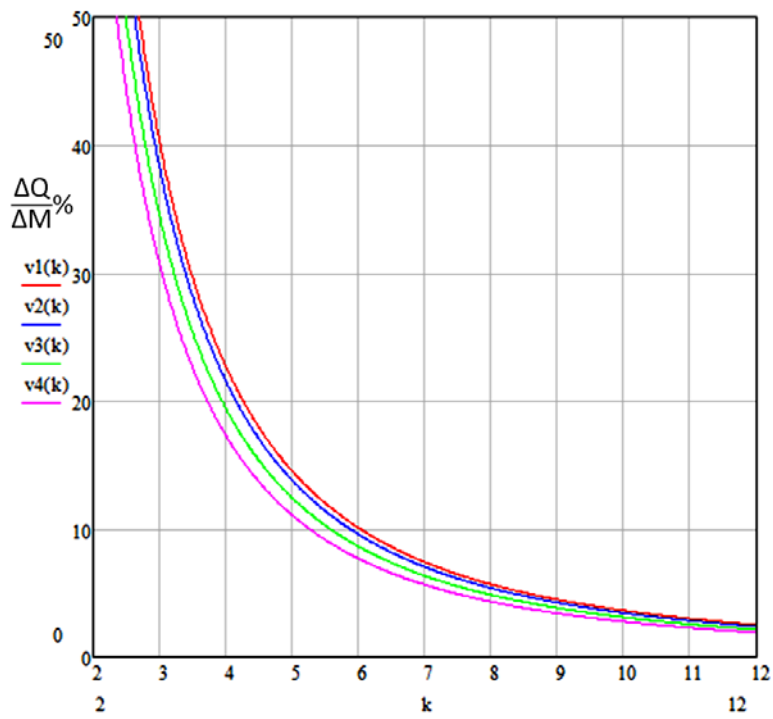
В



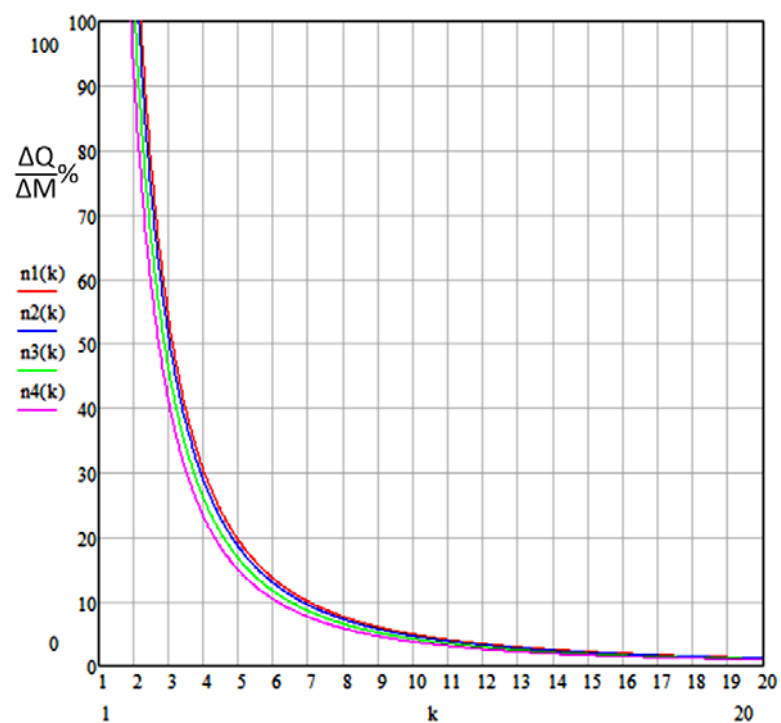
Г



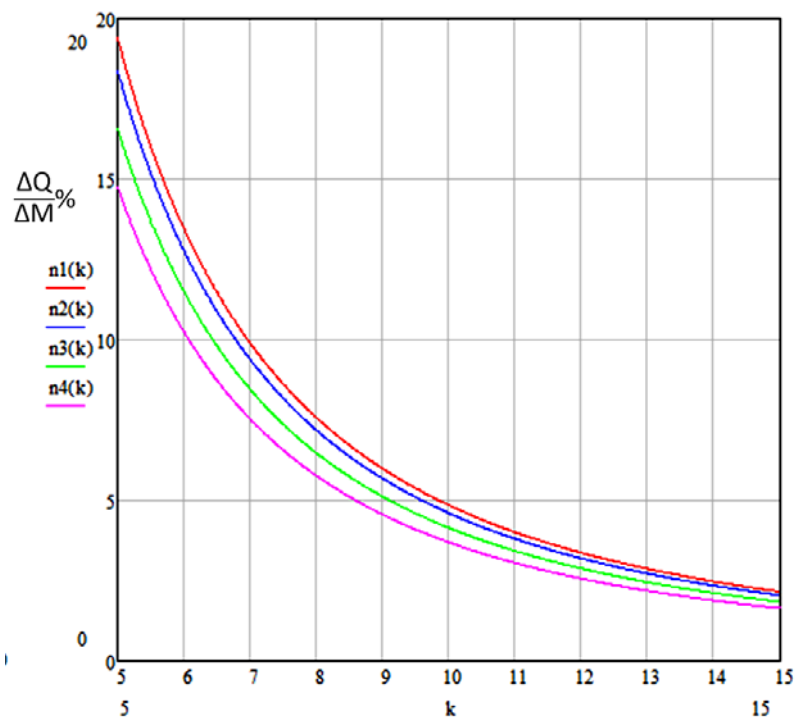
д



е



Ж



З

Рис. 2, а–з. Погрешности  $\frac{\Delta M}{\Delta Q} \cdot 100\%$  в прогибах двутавров № 10, 20, 30, 40

По графикам (рис. 2) видна зависимость для балок одинаковой длины  $L$ , чем больше номер двутавра, тем больше влияние поперечных сил в вычислении прогибов, и с увеличением длины балки при постоянной высоте поперечного сечения составляющая прогиба от сдвига стремится к нулю.

Наибольшая погрешность  $\frac{\Delta M}{\Delta Q} \cdot 100\%$  возникает при вычислении прогибов шарнирно опёртой балки с сосредоточенной силой в середине – схема № 1.

Используя полученные данные для определения точных значений прогибов, вычислим

поправочный коэффициент  $n$  к прогибам, найденным традиционным способом, без учёта поперечных сил

$$Y = Y_m \cdot n,$$

где  $Y_m$  – прогиб от действия изгибающих моментов;

$Y$  – полный прогиб балки, следовательно:

$$n = \frac{\Delta M + \Delta Q}{\Delta M} = 1 + \frac{\Delta Q}{\Delta M} \quad (6)$$

С данной таблицей, можно без труда вычислить полный прогиб балки, зная только его составляющую от изгиба.

Таблица 1. Уточняющие коэффициенты  $n$  для первой схемы нагружения

$k$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Двутавр № 10	12,553	4,638	2,617	1,910	1,582	1,404	1,297	1,227	1,180	1,145
Двутавр № 20	14,800	4,450	2,533	1,863	1,552	1,383	1,282	1,216	1,170	1,138
Двутавр № 30	13,344	4,109	2,382	1,777	1,497	1,345	1,254	1,194	1,154	1,124
Двутавр № 40	12,768	3,942	2,308	1,736	1,471	1,327	1,240	1,184	1,145	1,118
$k$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Двутавр № 10	1,120	1,101	1,086	1,074	1,065	1,057	1,050	1,045	1,040	1,036
Двутавр № 20	1,114	1,096	1,082	1,070	1,061	1,054	1,048	1,043	1,038	1,035
Двутавр № 30	1,103	1,086	1,074	1,063	1,055	1,049	1,043	1,038	1,034	1,031
Двутавр № 40	1,097	1,082	1,070	1,060	1,052	1,046	1,041	1,036	1,033	1,029

Рассмотрим на примере определение максимального прогиба балки по схеме № 1.

Дано: сечение балки – двутавр № 20;  $h = 20$  см;  $L = 220$  см.

Определяем приведенную длину  $k = \frac{L}{h} = \frac{220}{20} = 11$ . По строке для двутавра № 20 при  $k = 11$  находим  $n = 1.114$ .

Прогиб от изгиба  $Y_m = \frac{FL^3}{48EI_z}$ , полный прогиб  $Y = Y_m \cdot n = \frac{FL^3}{48EI_z} \cdot 1,114$ , т. е. прогиб будет больше

### ВЫВОДЫ

Из практики применения балок в строительстве известно, что балки с приведенной длиной  $k = \frac{L}{h} = 8 \div 12$  встречаются довольно часто.

Погрешность при определении прогибов статически определимых стальных балок в этих случаях составляет  $7 \div 20\%$ , что значительно превышает допустимую погрешность при расчёте балок на жесткость [11–12].

расчётного по классической теории балок на  $11,4\%$ .

Дано: сечение балки – двутавр № 30;  $h = 30$  см;  $L = 220$  см.

Определяем приведенную длину  $k = \frac{L}{h} = \frac{220}{30} = 7,3$ . По строке для двутавра № 30 при  $k = 7,3$ , используя метод линейной интерполяции, находим  $n = 1,24$ ;  $k = 7 - n = 1,254$ ;  $k = 8 - n = 1,194$ .

Полный прогиб  $Y = Y_m \cdot n = \frac{FL^3}{48EI_z} \cdot 1,24$ , т. е. прогиб будет больше расчётного по классической теории балок на  $24\%$ .

По результатам приведённых выше исследований, можно сделать следующие выводы:

– форма поперечного сечения балки влияет на погрешность при определении прогибов. Для тонкостенных сечений влияние сдвига больше, чем для массивных;

– с увеличением высоты поперечного сечения  $h$  при одинаковой длине балок  $L$ , влияние сдвига возрастает;

– с увеличением длины балок  $L$  при одинаковой высоте  $h$ , влияние сдвига уменьшается. Т. е. чем короче и выше балка, тем большая погрешность возникает при вычислении прогибов;

– величина влияния сдвига зависит от способа закрепления балки. Для балок на шарнирных опорах, погрешность при определении прогиба больше, чем для жёстко зашпелённых одним концом;

– величина погрешности зависит от упругих свойств материала, а именно от соотношения

модулей упругости и сдвига  $\frac{F}{G}$ . При относительно

низком значении модуля сдвига, например древесины, сдвиговая податливость конструкции возрастает. Например, для строительных сталей

$\frac{F}{G} = 2,5 \div 4$ , для древесины вдоль волокон

$\frac{F}{G} = 18 \div 25$ ;

– величина поправки на сдвиг зависит от формы сечения, т. к. от неё зависит величина коэффициента распределения касательных напряжений по сечению  $\eta$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дарков, А.В. Сопротивление материалов: Учебник для вузов / А.В. Дарков, Г.С. Шпиро. – М.: Альянс, 2014. – 624 с.
2. Горшков, А.Г. Сопротивление материалов: Учеб. Пособие / А.Г. Горшков, В.Н. Трошин, В.И. Шалашилин. – М.: Физматлит, 2005. – 544с.
3. Каримов, И. Сопротивление материалов [Электронный ресурс] / Электронный учебный курс для студентов очной и заочной форм обучения. – Режим доступа: <http://www.soprotmat.ru>. – Загл. с экрана.
4. Андреев, В.И. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности: Учебник / В.И. Андреев – М.: ИНФРА–М, 2014. – 638 с.
5. Доннелл, Л.Г. Балки, пластины и оболочки. Пер. с англ. Под ред. Э.И. Григолюка / Л.Г. Доннелл – М.: Наука. Главная редакция физико–математической литературы, 1982. – 568 с.
6. Липовцев, Ю. Прикладная теория упругости / Ю. Липовцев, М. Русин. – М.: Дрофа, 2008. – 321 с.
7. Саргсян, А.Е. Сопротивление материалов, теории упругости и пластичности. Основы теории с примерами расчетов: Учебник для вузов / А.Е. Саргсян. – М.: Высшая школа, 2000. – 286 с.
8. Тимошенко, С.П. Сопротивление материалов. Том I. Элементарная теория и задачи / С.П. Тимошенко. – М.: Наука, 1965. – 368 с.
9. Кирсанов, М.Н., Формулы для расчета прогиба балочной многорешетчатой фермы / М.Н. Кирсанов, А.Н. Маслов // Строительная механика и расчет сооружений. – М.: Научно–исследовательский центр «Строительство», 2017. – С. 6–10.
10. Попова, И.Ю. Определение перемещений в предварительно нагруженных железобетонных балках / И.Ю. Попова // Международная научно–техническая конференция «Проблемы энергетики, природопользования, экологии». Брянская государственная сельскохозяйственная академия, 2008. – С. 171–176.
11. Чемодуров В.Т. Методы системного анализа в проектировании технических систем / В.Т. Чемодуров, Ю.С. Кузьмина // Строительство и техногенная безопасность, 2013. № 46. – С. 36–43.
12. Narayanan, S. Space Structures: Principles and Practice / S. Narayanan. – U.K., Essex, Brentwood: Multi–Science Publishing Company, 2006. – 844 p.

## REFERENCES

1. Darkov A.V. strength of materials: Textbook for technical colleges / V. A. Darkov, G. S. Spiro. - Moscow: Alliance, 2014. - 624 p.
2. Gorshkov, A. G. mechanics of materials: Proc. Manual / A. G. Gorshkov, V. N. Troshin, V. I. Shalashilin. - Moscow: Fizmatlit, 2005. - 544с.
3. Karimov, I. Resistance of materials [Electronic resource] / Electronic training course for full-time and part-time students. - Access mode: <http://www.soprotmat.ru> Oh. - Zagle. from the screen.
4. Andreev, VI Resistance of materials with the basics of the theory of elasticity and plasticity: Textbook / VI Andreev – M.: INFRA–M, 2014. - 638 p.
5. Donnell, L. H.: Beams, plates and shells. Per. from English. Under the editorship of E. I. Grigolyuk / L. G. donnell. - M.: Science. Main edition of physical and mathematical literature, 1982. - 568 p.
6. Lipovtsev, Yu. Applied theory of elasticity / Yu Lipovtsev, M. Rusin. - Moscow: Drofa, 2008. - 321 p.
7. Sargsyan, A. E. Resistance of materials, theory of elasticity and plasticity. Fundamentals of theory with examples of calculations: Textbook for

universities / A. E. Sargsyan. - Moscow: Higher school, 2000. - 286 p.

8. Timoshenko, S. P. mechanics of materials. Volume I. Elementary theory and problems / S. p. Timoshenko. - M.: Science, 1965. - 368 p.

9. Kirsanov, Mn, Formulas for calculating the deflection of a multi-beam beam beam truss / M. N. Kirsanov, AnMaslov // Construction mechanics and calculation of structures. - M.: research center "Construction", 2017. - P. 6-10.

10. Definition of displacements in pre-loaded reinforced concrete beams / I. Yu. Popova / /

international scientific and technical conference "problems of energy, nature management, ecology". Bryansk state agricultural Academy, 2008. – Pp. 171-176.

11. Chemodurov V. T. Methods of system analysis in designing of technical systems / V. T. Chemodurov, Y. S. Kuzmin // Construction and technogenic safety, 2013. No. 46. - P. 36-43.

12. Narayanan, S. Space Structures: Principles and Practice / S. Narayanan. - U. K., Essex, Brentwood: Multi–Science Publishing Company, 2006. - 844

## ACCOUNTING OF TRANSVERSAL FORCES AT CALCULATION OF DEFLECTIONS OF BEAMS BY MEANS OF THE MOHR'S INTEGRAL

Maslak A.S., Popov A.G., Litvinova E.V.

**Summary.** Questions of account and research of dependences of size of the maximal deflections of statically determinate beams on action of transversal forces at different types of a loading, various ways of fixing and forms of a transverse section are considered. The difference between the classical theory of a bend of beams and Tymoshenko S.P. theory, suggested considering the part of movements caused by the shift phenomenon when determining deformations is defined. Schedules of influence of various factors at a size of the relative accuracy are constructed at calculation of the maximal deflection according to the classical theory of a bend and taking into account action of transversal forces. The table of correction factors for specification of sizes of the maximal deflections determined by the traditional way considering only deformations, the bound to a moment of deflection is made.

**Keywords:** statically determinate beams, deflections, specification of calculation of deflections, Maxwell–Mohr's equation, Tymoshenko's method.

УДК 697.7:69.032.22

## АВТОНОМНОЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Гапеева Н.А., Жиленко О.Б.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)

ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,

295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181,

E-mail: natashka.gapeeva@gmail.com

o.b.zhilenko@mail.ru

**Аннотация.** В качестве автономного источника теплоснабжения высотных зданий наибольшее применение получают крышные котельные с водогрейными котлами. Применение крышных котельных уменьшает общие затраты на строительство, увеличивая при этом энергоэффективность системы теплоснабжения за счет отсутствия теплотрассы. Автономное отопление обеспечивает бесперебойную подачу тепла и горячей воды, вне зависимости от сезона, и дает возможность регулировать систему, исходя из климатических условий в конкретный момент, а также сократить затраты на этот вид коммунальных услуг.

**Ключевые слова:** высотные здания; аэродинамические нагрузки; автономные источники теплоснабжения; ветрогенераторы; крышные котельные; котлы Rendamax

### ВВЕДЕНИЕ

Темпы роста строительства высотных зданий вызваны, прежде всего, экономическим аспектом. Преимущество отдают строящимся объектам с энергосберегающими технологиями и автономными системами отопления. Многофункциональные высотные здания и комплексы представляют собой чрезвычайно сложное сооружение с точки зрения проектирования инженерных коммуникаций: систем отопления, общеобменной и противодымной вентиляции, общего и противопожарного водопровода, эвакуации, противопожарной автоматики и др. Это объясняется, главным образом, высотой здания и допустимым гидростатическим давлением, в частности, в водяных системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Наиболее распространенные варианты расположения АИТ – встроенные, пристроенные, отдельностоящие, крышные. Крышные имеют преимущество, т.к. не требуют дополнительных площадей внутри или вне здания. При выборе источника энергии для систем автономного теплоснабжения, требуется выполнить ряд предварительных исследований. Все высотные здания и сооружения очень чувствительны к ветровым нагрузкам. Поэтому расчет

аэродинамических нагрузок имеет большое значение. В статье Бакматовой Л.Н. [1] проведен анализ определения аэродинамических коэффициентов и расчетных усилий, возникающих при ветровом воздействии на высотные и сверхвысотные здания. В монографии Кузнецова С.Г. [2] рассмотрены эффекты волнообразования в ветровом потоке при обтекании высотных зданий и сооружений, приведены теоретические и практические примеры возникновения волн и особенности их влияния на высотные здания. Леденев В.В. [3] показывает распределение значений аэродинамических коэффициентов на фасаде квадратного в плане здания, возрастающих с увеличением высоты здания. Американские авторы Симиу Э. и Сканлан Р. [4] рассматривают те метеорологические, микрометеорологические и климатологические аспекты ветрового режима местности, которые представляют интерес для инженерных исследований ветровых воздействий.

В учебном пособии Генералов В.П. [5] рассматривает основы проектирования высотных зданий, особенности несущих конструкций и требования к инженерным системам. В пособии использованы действующие нормативные документы, результаты современных зарубежных и отечественных исследований по высотному домостроению.

Бродач М.М. [9] обобщает отечественный опыт проектирования и эксплуатации высотных зданий описывает мировой опыт проектирования

инженерного оборудования наиболее знаменитых высотных зданий дает характеристику инженерных систем помещений и объектов многофункциональных зданий, построенных в Москве, рассматривает системы отопления, вентиляции и пр. применяемые на конкретных объектах.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Каждое энергоэффективное высотное здание уникально. Возведенные высотные здания изменяют аэродинамику городской застройки, в результате чего возникают сильные воздушные вихревые потоки, поэтому при проектировании высотных зданий требуется исследование их аэродинамических характеристик с учетом прилегающей городской застройки. Возрастают требования к сопротивлению воздухопроницанию конструкций. Это связано с разностью давлений воздуха на наружной и внутренней поверхности ограждений, существенно возрастающей с увеличением высоты и влияющей на температурный режим здания. Традиционные окна не обеспечивают требуемое сопротивление воздухопроницанию, поэтому для высотных зданий необходимы специальные конструкции световых проемов.

Автономные источники теплоснабжения (АИТ) – источники тепловой энергии, не связанные с центральными системами теплоснабжения. Эти источники не соединены с внешними сетями теплоснабжения, но они не являются автономными в полном смысле этого слова, поскольку они связаны с централизованными системами снабжения топливом (чаще всего газовым), электричеством и водой.

АИТ, в соответствии с проектом [12], может располагаться в отдельно стоящем здании с соблюдением необходимых расстояний между АИТ и высотными зданиями или в пристроенном здании, примыкающем к высотному зданию. АИТ или энергетический центр (ЭЦ) допускается размещать на крыше высотного здания или крыше самой высокой стилобатной части.

На крышах высотных зданий устанавливаются ветряные турбины, которые производят электроэнергию для отопления здания. На крышу одного здания [9], можно устанавливать одну, две или несколько турбин в зависимости от

высоты здания и от полезной площади крыши. Установленный на крыше, ветрогенератор позволяет полностью или частично обеспечить здание отоплением, горячим водоснабжением и общим освещением. Такая ветротурбина одинаково подходит как для высотных жилых домов, так и для офисных, деловых и административных многоэтажных комплексов. Благодаря медленному вращению ротора турбины и магнитной подвеске, которая компенсирует вес ротора, установленная ветротурбина работает тихо и не создает вибраций. Также она полностью безопасна для насекомых, животных и птиц.

В зарубежной практике используется энергия, вырабатываемая ветряными турбинами. Этой энергии достаточно для работы всех внутренних коммуникаций здания. Высотные здания Бостона, Дюссельдорфа, Милана, Монреаля, Нью-Йорка, Торонто оснащены автономными источниками теплоснабжения, размещенными на крыше.

Также, для получения энергии от солнечного света, на фасадах зданий устанавливаются крупномасштабные солнечные батареи.

В конструкции башен Бахрейнского всемирного торгового центра (рис. 1) установлены три ветряные турбины суммарной мощностью в 675 кВт. Каждая из этих турбин диаметром 29 метров, ориентирована на север, именно оттуда, со стороны Персидского залива, ветер дует наибольшее количество дней в году.

Башни в форме кораблей спроектированы в форме туннеля, в результате чего ветер, проходя через туннель, ускоряется и проходит через турбины. Полезное использование между башнями туннеля, образующего S-образный поток, было подтверждено тестами, показывающими, что любой ветер, приходящий под углом в 45° к каждой стороне центральной оси, будет создавать ветровой поток, перпендикулярный к турбинам, что увеличивает их потенциальные возможности по выработке электроэнергии.

Ветровые турбины рассчитаны на производство от 11 до 15% энергии, необходимой башням, или приблизительно от 1,1 до 1,3 ГВт•ч электроэнергии в год. Это эквивалентно производству света для 300 домов в течение одного года.



Рис.1. Международный торговый центр в Бахрейне.

Fig. 1. International Trade Center in Bahrain.

Такие ветровые турбины помогут решить не только энергетические задачи высотного здания, но и экологические проблемы. Ветрогенератор имеет отличные показатели по стоимости в расчете на единицу установленной мощности. Она практически не требует технического обслуживания в течение многих лет эксплуатации, что также снижает ее стоимость совокупного владения. Срок эксплуатации такой турбины составляет порядка ста лет, что является экономичным и эффективным решением для высотных зданий.

Многоквартирный жилой дом Strata Tower SE1 в Лондоне (рис. 2). 43-этажный небоскреб высотой 148 метров построен в 2010 году. На крыше здания расположены три ветрогенератора (9-метровые ветряные турбины, каждая мощностью 19 кВт), которые обеспечивают 8 % всей потребляемой электроэнергии здания. Турбины имеют по пять лопастей, вместо привычных трех. Такое решение принято с целью значительного уменьшения уровня шума и вибрации.

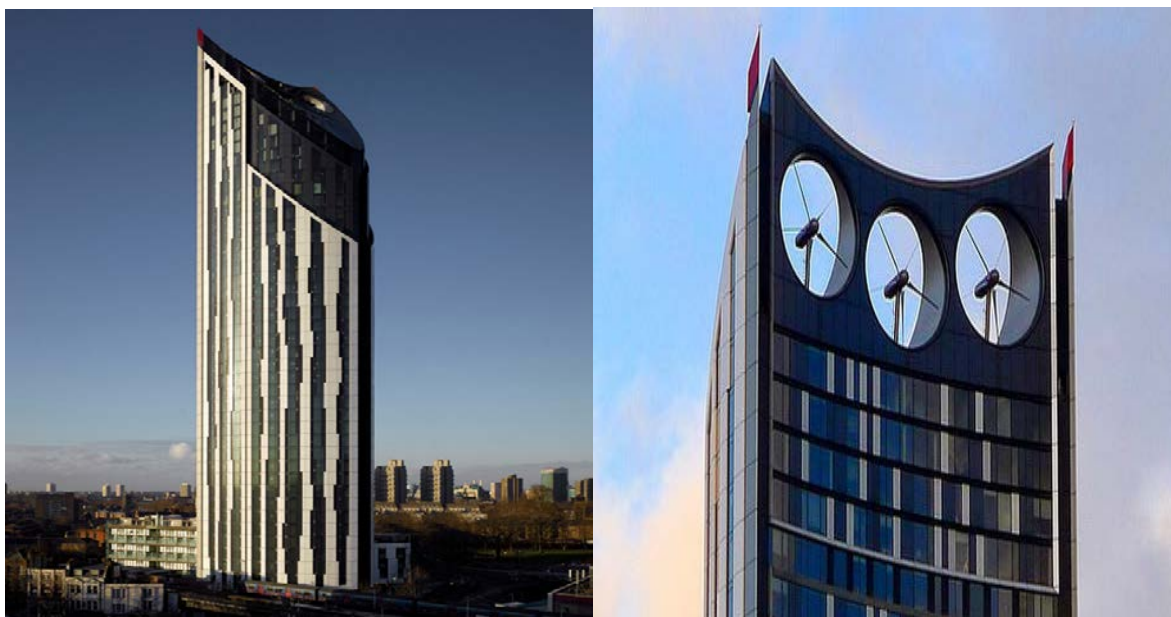


Рис.2. Многоквартирный жилой дом Strata Tower SE1 в Лондоне

Fig. 2. Apartment block Strata Tower SE1 in London

Важным преимуществом ветрогенераторов, установленных на крыше, является то, что они

обеспечивают полное энергоснабжение всех внутренних коммуникаций здания, включающих

три скоростных лифта и аварийное освещение, а также помещений общего пользования, подземных вело- и автостоянок и автоматической системы мытья окон. На первых этажах здания располагаются несколько магазинов и фитнес-клуб. Strata Tower SE1 является одним из самых высоких жилых зданий Лондона.

Для экономии энергии в здании Strata максимально используется естественная вентиляция, и специальные стекла с улучшенной изоляцией.

Аэродинамика конструкции была спланирована так, чтобы ветер вращал турбины с максимальной эффективностью в течение всего года. По расчетам инженеров, ветер скоростью 60 км/ч должен обеспечить выработку 50МВт-часов электроэнергии в год.

Новый жилой экологический комплекс с вертикальным лесом в Милане (рис. 3) включает в себя два небоскреба, которые возвышаются на 87 и 119 метров. Вместе с обычными помещениями современных городских зданий (квартиры, офисы, кафе, торговый центр, несколько концертных залов и кинотеатров) строения имеют и экодружественные инновации: система сбора и фильтрации дождевой воды, индивидуальное отопление, солнечные панели и ветрогенераторы на крыше. Но самое главное – в двух высотках сочетаются на первый взгляд совсем не сочетающиеся вещи – железобетонные конструкции и целая лесная экосистема. В коридорах, на балконах, в холле, на смотровых площадках, фасадах, на крыше и во многих других местах экосистемы растет местная и экзотическая растительность.



Рис. 3. Жилой комплекс с вертикальным лесом в Милане

Fig. 3. Residential complex with a vertical forest in Milan

Ассиметричная структура зданий получается благодаря размещенным в неправильном порядке этажам, террасам и балконам на фасадах. Такое архитектурное решение позволяет жителям экодомов использовать около 8,900 м<sup>2</sup> для наслаждения чистым воздухом в тени деревьев и отдыха среди почти целого гектара «вертикального леса».

В отечественной практике автономные источники теплоснабжения в крышном варианте начали внедряться с 2000 г. АИТ на высотном здании «Башня 2000» (Москва, набережная Т.Г. Шевченко) на отметке 100 м мощностью 13 МВт; (рис. 4), на высотном жилом доме (Москва, ул. Сельскохозяйственная) на отметке 110 м мощностью 3,4 МВт; (рис 4), на высотном здании

башни «Исеть» (Екатеринбург) на отметке 130 м мощностью 6 МВт (рис. 5), и др. объекты.

Бизнес центр «Башня 2000» (рис. 4), стал первым реализованным проектом комплекса Московского международного делового центра (ММДЦ) Москва-Сити. В здании 34 этажа, его высота более 100 метров. В бизнес центре выполнена высококачественная отделка внутренних интерьеров. Открытая планировка этажей позволяет формировать внутренне пространство исходя из потребностей компании.

Бизнес центр «Башня-2000» располагает независимым теплоснабжением (собственная газовая крышная котельная), центральной системой приточно-вытяжной вентиляции и кондиционирования, комплексной системой безопасности.

34-х этажный жилой дом по ул. Сельскохозяйственно в Москв (рис. 4), - первый в России и в г.Москве высотный жилой дом с размещением крышной котельной мощностью 3,5 МВт на отметке выше 110 метров с прокладкой

газопровода среднего давления по фасаду жилого дома с применением котлов с конденсацией водяных паров дымовых газов. КПД котельной установки достигает 107 %.

Башня «Исеть» (рис. 5), - это 52-этажный небоскреб высотой 209 метров в сердце уральской столицы, один из составляющих строящегося комплекса «Екатеринбург-сити». Из окон открывается панорамный вид на одноименную реку.

Источником тепловой энергии башни «Исеть» служит крышная автономная котельная, где установлены насосы линейек ТР и СМ, отличающиеся компактностью и модульностью. Четырьмя котлами Rendamax R3409 генерируется мощность 6732 кВт. Этого более чем достаточно для удовлетворения нужд комплекса таких размеров. Котлы от Rendamax компактны по габаритам, легки по весу, имеют разборную конструкцию, поэтому идеально подходят для установки в крышных и блочно - модульных котельных.



Рис. 4. «Башня 2000», набережная Т.Г. Шевченко и 34-х этажный жилой дом, ул. Сельскохозяйственная в Москве.

Fig. 4. "Tower 2000", embankment of T.G. Shevchenko and 34-storey residential building, st. Agricultural in Moscow.



Рис. 5. Башня «Исеть г. Екатеринбург – самый высокий северный небоскреб планеты

Fig. 5. Tower "Iset of Ekaterinburg - the highest northern skyscraper of the planet

Благодаря уникальной конструкции, эти котлы отличаются следующим:

- высокая удельная теплопроизводительность;
- соответствие самым жестким экологическим требованиям;
- минимальные габариты и вес котлов позволяют устанавливать их в крышных котельных без усиления перекрытий, несущих конструкций и фундаментов зданий;
- конструкция котлов позволяет провести их полную разборку и сборку на месте установки, что позволяет не использовать грузоподъемные устройства, а так же применять котлы при реконструкции объектов теплоснабжения;
- долговечность благодаря применению коррозионно стойких материалов;
- низкий уровень шума позволяет не проводить мероприятий по шумоподавлению;
- широкий диапазон регулирования и гибкая возможность управления;
- широкий модельный ряд;
- большой набор дополнительных функций;
- высокое значение КПД позволяет максимально эффективно использовать энергоносители

Данные преимущества дают возможность произвести замену котлов в существующих крышных котельных, оснащенных непрофильным котельным оборудованием.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Исследуя теплоснабжение и энергообеспечение высотных зданий в зарубежной и отечественной практике можно сказать, что в настоящее время активно осуществляется переход на индивидуальное теплоснабжение и энергообеспечение строящихся объектов. Установленные в высотных комплексах и жилых домах на крыше ветрогенераторы, позволяют частично или полностью обеспечить здание отоплением, горячим водоснабжением и общим освещением. В качестве автономных источников теплоснабжения используются не только традиционные отдельно стоящие котельные, которые сегодня сооружаются в вариантах блочных и модульных, но и встроенные, пристроенные к зданиям. Проекты современных крышных котельных также осуществляются в блочных и модульных решениях.

Крышный вариант автономных источников теплоснабжения широко применяется в районах плотной городской застройки зарубежных и отечественных мегаполисов.

Преимуществами этих котельных, по сравнению с другими типами являются: отсутствие необходимости в отводе дорогостоящего земельного участка, как в случае с отдельностоящей котельной в центре мегаполиса (где земля стоит очень дорого).

АИТ или энергетический центр (ЭЦ) - источник комбинированной выработки тепла и холода [10] допускается размещать на крыше

высотного здания или крыше самой высокой стилобатной части.

Для теплоснабжения и холодоснабжения в помещении АИТ могут быть установлены абсорбционные холодильные машины (АБХМ) и другое оборудование, вырабатывающее теплоту и холод, которые могут быть объединены в единый энергетический центр (ЭЦ) высотного здания или комплекса [12].

Оборудование АИТ, мощности АИТ и схемы регулирования отпуска теплоты рассчитываются и выбираются исходя из обеспечения максимальной энергетической эффективности системы теплоснабжения [10]. Общая тепловая мощность устанавливаемых котлов и единичная производительность каждого не нормируются.

Значение тепловой мощности АИТ подбирают с учетом соответствия расчету потребления теплоты для конкретного здания (комплекса).

Число устанавливаемых котлов (теплогазогенераторов) в АИТ должно быть не менее трех. При выходе из строя одного из них, другие котлы должны обеспечивать не менее 70% расчетной тепловой нагрузки комплекса на период проведения ремонтно-восстановительных работ. При этом при наличии в здании потребителей первой категории должно быть обеспечено 100% покрытие потребности их в тепловой энергии.

Способ резервирования подачи теплоты и пропускную способность резервного ввода следует проектировать согласно СП 124.13330.

Если по техническим условиям теплоснабжающей организации эти требования не могут быть обеспечены, теплоснабжение может быть осуществлено от автономного источника теплоснабжения (АИТ) на газовом топливе в пристроенном или крышном варианте, возможно в комбинации с другими альтернативными источниками энергии, соответствующими требованиям охраны окружающей среды и соответствующих требований по энергоэффективности и безопасности.

Схема теплоснабжения высотного здания от автономного источника (АИТ, ЭЦ) [10], представлена на рис.6

Автоматика в индивидуальных тепловых пунктах (ИТП) башни «Исеть» регулирует режим работы системы теплоснабжения в зависимости от

погодных условий и реальной потребности в тепловой энергии. Система отопления организована с горизонтальной разводкой и применением квартирных тепловых пунктов (КТП). Комфортный микроклимат помогает поддерживать центральное кондиционирование с использованием чиллера (оборудование для охлаждения жидких веществ). Внутренние блоки – фанкойлы работают на охлаждение и обогрев и имеют дистанционное управление. Воздухообмен обеспечивают центральные приточные и вытяжные установки с поквартирным распределением.

Все инженерные системы здания работают в гибком режиме, сберегая энергоресурсы и обеспечивая выбранные климатические параметры.

### **Сравнительный анализ источников теплоснабжения**

#### **Централизованное отопление**

Преимущества:

- возможность использования дешевого топлива;
- высокая надежность;
- простота в использовании.

Недостатки:

- существенные потери тепла, что требует больший объем источника энергии по сравнению с автономным оборудованием;
- отсутствие возможности регулировки температуры нагрева, что негативно сказывается на микроклимате квартиры;
- самовольное отключение от центрального отопления выполнять категорически запрещается.

#### **Автономные источники теплоснабжения**

Преимущества АИТ:

- отсутствие дорогостоящих наружных тепловых сетей;
- быстрый монтаж оборудования;
- сокращение расходов топлива за счет местного регулирования.

Недостатки АИТ:

- высокая стоимость блочно-модульной котельной;
- затраты на устранение шума и вибрации.

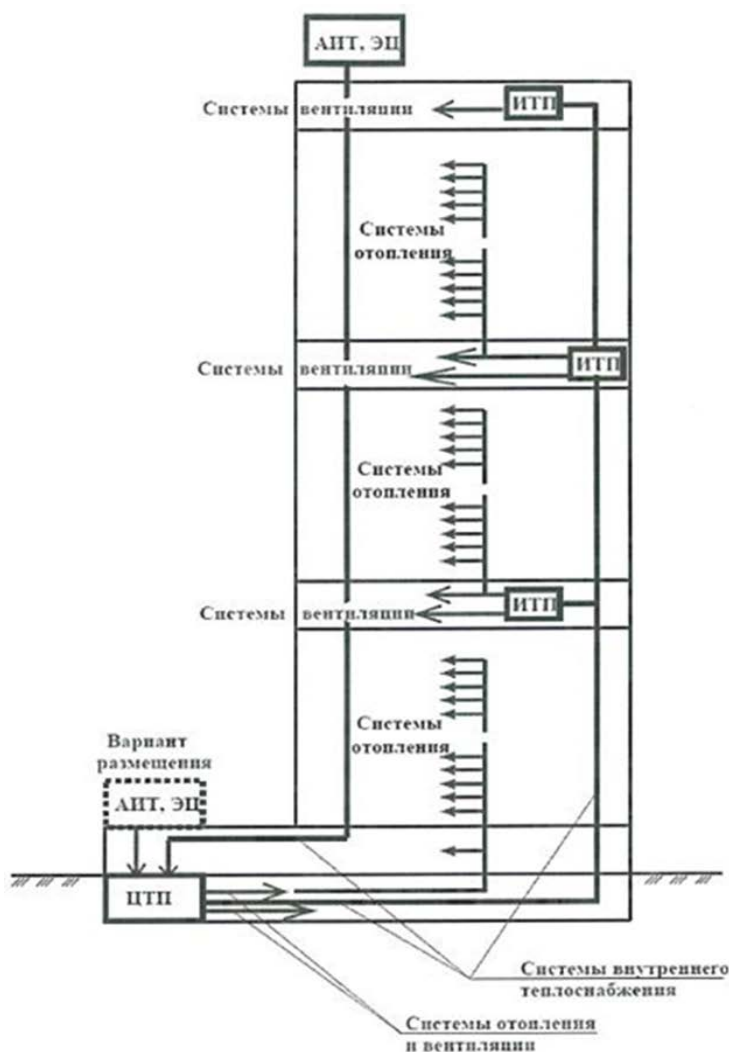


Рис. 6. Схема теплоснабжения высотного здания от автономного источника (АИТ, ЭЦ)

Fig. 6. Diagram of heat supply of a high-rise building from an autonomous source (AIT, EC)

Исходя из вышеизложенного, для высотного здания автономная система теплоснабжения – является предпочтительной. Однако, необходимо привлечь высококвалифицированных инженеров, для разработки схемы отопления и выбрать котлы, с необходимыми характеристиками, обеспечивающими потребности здания.

Автоматика в индивидуальных тепловых пунктах (ИТП) регулирует режим работы системы теплоснабжения в зависимости от погодных условий и реальной потребности в тепловой энергии. Система отопления организована с горизонтальной разводкой и применением квартирных тепловых пунктов (КТП). Комфортный

микроклимат помогает поддерживать центральное кондиционирование с использованием чиллера (оборудование для охлаждения жидких веществ). Внутренние блоки – фанкойлы работают на охлаждение и обогрев и имеют дистанционное управление. Воздухообмен обеспечивают центральные приточные и вытяжные установки с поквартирным распределением.

Все инженерные системы здания работают в гибком режиме, сберегая энергоресурсы и обеспечивая выбранные климатические параметры.

Сравнительный анализ автономных источников теплоснабжения представлен таблицей 1.

**Таблица 1.** Автономные источники телоснабжения

**Table 1.** Autonomous sources of the body supply

Объекты	Ветряные турбины	Солнечные батареи	Ветряки	Крышные котельные	Примечания
Международный торговый центр в Бахрейне	+	+			
Высот-ный жилой дом в Лондоне	+	+			
Высот-ный жилой дом в Милане		+	+	+	
Башня 2000 в Москве				+	
34-этажный жилой дом в Москве				+	
Башня «Исеть» в Екатеринбурге				+	

В настоящее время накоплен научно-технический потенциал, позволяющий реализовать идею полностью автоматизированного источника теплоснабжения и энергоснабжения без постоянного присутствия обслуживающего персонала на основе применения отечественного и импортного оборудования.

Высотные здания, являясь достижением научной и инженерной мысли, экономического развития страны, требуют применения наиболее экономичных и эффективных способов энерго- и теплоснабжения. Поэтому АИТ в перспективе возможно получат более широкое распространение

### ВЫВОДЫ

Высотные здания, особенно здания значительной высоты – 250 м и более, имеют свою специфику, существенно отличающую их от обычных зданий. К особенностям высотных зданий относятся прежде всего: превалирующее значение горизонтальных (в первую очередь, ветровых) нагрузок над вертикальными; повышенная значимость воздействия ряда природных факторов (сейсмика, солнечная радиация, аэродинамика).

Поиск новых источников энергии является актуальным во всем мире. Ветрогенераторы и солнечные батареи активно используются в энергетическом комплексе ряда европейских стран

Всё увеличивающиеся потребности в офисных, жилых, общественных, торгово-выставочных площадях, рост числа автомобилей приводят к максимальной концентрации зданий на

минимальных площадях, что вызывает рост этих объектов в высоту. При дефиците городских тепловых мощностей, в новых районах или на отдельно стоящих зданиях, к которым по какой-либо причине невозможно провести магистраль к теплоцентрали используются крышные котельные, работающие на природном газе. Они предназначаются для обеспечения потребителей бесперебойным, безопасным и экономичным теплом и горячим водоснабжением и работают без привлечения дополнительного обслуживающего персонала.

Использование природного газа в высотных зданиях и многофункциональных высотных комплексах возможно при применении систем газоснабжения среднего давления для крышных источников теплоснабжения и автономных источников энергоснабжения, которые приобретают все большую популярность при возведении высотных зданий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакмаматова Л.Н., Алексеенко В.И., Жиленко О.Б. Особенности оценки ветрового воздействия на высотные здания. /Электронный сборник статей по материалам XXX студенческой международной заочной научно-практической конференции. – Москва: Изд. «МЦНО». – 2016. – № 1 (30) / [Электронный ресурс] [http://www.nauchforum.ru/archive/MNF\\_tech/1\(30\).pdf](http://www.nauchforum.ru/archive/MNF_tech/1(30).pdf)

(Дата обращения: 12.12.2017).

2. Кузнецов С.Г. Эффекты волнообразования при обтекании ветровым потоком высотных зданий и сооружений / С.Г. Кузнецов; Норд-Пресс. Донецк.-2009.- 199с.

3. Леденев В.В. Высотные здания: учеб. пособие / В.В. Леденев; Тамбовск. гос. техн. ун-т. - Тамбов, 2014. - 277 с.

4. Симиу Э., Сканлан Р. Воздействие ветра на здания и сооружения. М., 1984.-360с.

5. Генералов В.П. Особенности проектирования высотных зданий: учеб. пособие / В.П. Генералов; Самарск. гос. арх.-строит. ун-т - Самара, 2009- 296 с.

6. МГСН 4-19.05: Многофункциональные высотные здания и комплексы: Московские городские строительные нормы. – М.: ОАО ЦНИИЭП жилища, 2005. – 208с.

7. АВОК №3'2016 / Теплоснабжение – [электронный ресурс] [http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php) (Дата обращения: 11.11.2017)

8. АВОК №4'2005 / Отопление и горячее водоснабжение -[электронный ресурс] [http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php) (Дата обращения: 11.11.2017)

9. Инженерное оборудование высотных зданий./Бродач М.М. (ред).- М.:АВОК-ПРЕС.-2007.-320 с.

10. СП 253.1325800.2016 Инженерные системы высотных зданий.

11. СОК № 4 2017 Насосы для инженерной системы северного небоскреба — башни «Исеть».

12. СТО НОСТРОЙ 2.15.70-2012 Инженерные сети высотных зданий.

13. 4 Times Square New York City. Highlighting high performance. US DOE. 2001

materials of the XXX student international correspondence scientific-practical conference. - Moscow: Izd. "ISCO". - 2016. - No. 1 (30) / [Electronic resource] [http://www.nauchforum.ru/archive/MNF\\_tech/1\(30\).pdf](http://www.nauchforum.ru/archive/MNF_tech/1(30).pdf)

(Date of circulation: 12.12.2017).

2. Kuznetsov S G Effects of wave formation in the flow of high-rise buildings and structures by the wind flow / S.G. Kuznetsov; Nord-Press. Donetsk.-2009.-199s.

3. Ledenev V.V. High-rise buildings: teaching aid / V.V. Ledenev; Tambov. state. tech. un-t. - Tambov, 2014. - 277 with.

4. Simio E., Scanlan R. Impact of wind on buildings and structures. M., 1984.-360s.

5. Generalov V.P. Features of the design of high-rise buildings: textbook / V.P. Generals; Samarsk. state.arch.-build, un-t - Samara, 2009- 296 with.

6. MGSN 4-19.05: Multifunctional high-rise buildings and complexes: Moscow city building standards. - Moscow: JSC Central Research Institute of Housing, 2005. - 208s.

7. АВОК №3'2016 / Heat supply - [electronic resource] [http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php) (Date of circulation: 11.11.2017)

8. АВОК № 4'2005 / Heating and hot water supply - [electronic resource] [http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php) (Date of circulation: 11.11.2017)

9. Engineering equipment of high-rise buildings./ Brodach MM (ed.) .- М.: АВОК-ПРЕС.-2007.-320 p.

10. SP 253.1325800.2016 Engineering systems of high-rise buildings.

11. SOK № 4 2017 Pumps for the engineering system of the northern skyscraper - the tower "Iset".

12. STO NOSTROY 2.15.70-2012 Engineering networks of high-rise buildings.

13. 4 Times Square New York City. Highlighting high performance. US DOE. 2001

## REFERENCES

1. Bakmatova LN, Alekseenko VI, Zhilenko OB Features of the assessment of wind impact on high-rise buildings. / Electronic collection of articles on the

## AUTONOMOUS HEAT SUPPLY OF HEIGHT BUILDINGS

Gapeeva NA, Zhilenko O.B.

**Summary** As an autonomous source of heat supply for high-rise buildings, roof boiler houses with hot-water boilers are most used. The use of roof boiler rooms reduces the overall cost of construction, while increasing the energy efficiency of the heat supply system due to the lack of a heating main. Autonomous heating ensures uninterrupted supply of heat and hot water, regardless of the season, and allows you to adjust the system based on climatic conditions at a particular time, as well as reduce the cost of this type of public services.

The subject of the study: Features of autonomous heat supply of high-rise buildings, advantages and disadvantages of using roof boiler-houses as an independent source of heat supply.

**Key words:** high-rise buildings; aerodynamic loads; autonomous sources of heat supply; wind generators: roof boiler rooms; boilers Rendamax Abstract.



## РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЕ РАЗВИТИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ УТЕПЛЕНИЯ И ОТДЕЛКИ НАРУЖНЫХ СТЕН БЛОКАМИ ИЗ ПЕНОСТЕКЛА

Шаленный В.Т., Древетняк О.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)

ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,

295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181,

e-mail: [v\\_shalennyi@mail.ru](mailto:v_shalennyi@mail.ru)

**Аннотация.** Представлена усовершенствованная конструкция наружного утепления и отделки стен гражданских зданий блоками из пеностекла – энергоэффективного и долговечного строительного материала, изготавливаемого из промышленных и бытовых отходов стекольного боя. Усовершенствование заключается в новой запатентованной системе крепления блоков пеностекла при помощи разъемных пластиковых кронштейнов. Показаны преимущества и технологические особенности выполнения работ по предложенной конструктивно-технологической системе.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, технология наружного утепления и отделки, изделия из пеностекла.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Поворотной точкой в направлении повышения энергоэффективности строительного сектора российской экономики принято считать Постановление Правительства Российской Федерации № 18 от 25.01.2011г., где утверждается необходимость повышения энергоэффективности зданий по сравнению с базовым, нормированным в 2010 году уровнем, на 15% с 2011 года, еще на столько же с 2016 года и всего на 40% с 2020 года. Указанный нормативный документ, а также принятый несколько ранее Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 года №261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" появились в результате принятия скорректированной государственной политики, направленной на энергоэффективную модернизацию жилищно-коммунального сектора российской экономики.

Поскольку через конструкции наружных стен ранее построенных гражданских зданий происходят наибольшие теплопотери, которые компенсируются соответствующими затратами на их отопление в зимний период и кондиционирование летом [1-3], до настоящего времени, достаточно актуальной остается научно-прикладная проблема развития ресурсосберегающих технологий утепления и отделки этих стен как при модернизации

существующих, так и при новом строительстве зданий и сооружений различного назначения.

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

Однако, до сих пор, заинтересовать российского инвестора вложениями в энергосбережение достаточно сложно потому, что «... развитые страны имеют более выгодные условия для развития энергоэффективности» [4, 5]. Вместе с тем, в результате осуществления продуманной ресурсосберегающей реконструкции, можно получить и учесть и другие выгоды, которые могут заинтересовать потенциальных инвесторов в части сокращения сроков окупаемости их вложений [6], а также сократить эти вложения путем выбора и совершенствования самой технологии и организации производства работ по утеплению и отделке ограждающих конструкций.

Здесь, по мнению большинства авторитетных специалистов, определяющее значение имеют выбор и последовательность осуществления термомодернизационных мероприятий. Как пример, в работах [7, 8] обращается внимание на оценку экономической эффективности утепления и отделки ранее построенных строительных объектов в виде суммарной чистой дисконтируемой экономии средств (ЧДЭС) за весь срок службы теплозащитных мероприятий. Замена наихудшей последовательности реализации

термомодернизации на наилучшую дает повышение ЧДЭС на 8,53%. Причем подразумеваются иногда даже большие инвестиционные вложения при утеплении жилого дома серии 1-447С, которые необходимо как минимум окупить за срок службы реализуемых теплозащитных мероприятий, или лучше превысить вложения.

Продолжаются дискуссии по вопросам рационального значения необходимого термического сопротивления ограждающих конструкций после их термомодернизации. Ссылаясь на публикацию [9] в статье [10], на основе анализа зависимости удельного расхода тепловой энергии на отопление от приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены показано, что увеличение значения приведенного сопротивления теплопередаче от 1 до  $2\text{ м}^2\text{ °С/Вт}$  приводит к снижению величины удельного расхода тепловой энергии на отопление в среднем на 25%. А увеличение приведенного сопротивления теплопередаче от 1 до  $3,2\text{ м}^2\text{ °С/Вт}$  – всего лишь на 33,9%. Отсюда делается вывод, что «... при проектировании наружных стен из однослойных ограждающих конструкций экономически целесообразно добиваться уровня их теплозащиты, соответствующего потребителюскому подходу, то есть, в пределах от 2 до  $2,5\text{ м}^2\text{ °С/Вт}$  для большинства районов европейской части России». Представленная аргументация понадобилась авторам для того, чтобы доказать, что применение новых разработок в материаловедении и технологии производства керамзитобетона позволяют применять керамзитобетон в однослойных ограждающих конструкциях, выполняя при этом нормативные теплотехнические требования. Но так поступать можно только при новом строительстве и с применением новых, представляемых авторами, разработок в технологии производства керамзитобетонных конструкций заводского изготовления.

В очередной раз обращает внимание на нецелесообразность чрезмерного увеличения термического сопротивления ограждающих конструкций д.т.н., проф. Ватин Н.И. в большой, в том числе и обзорной по затрагиваемой нами проблематике статье, ниже следующим образом: «Из-за гиперболической зависимости теплового потока от сопротивления теплопередаче с ростом сопротивления поток и связанные с ним потери тепла убывают все медленнее. При увеличении сопротивления теплопередаче с  $0,5$  до  $3\text{ °С}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$  поток уменьшается на  $46\text{ Вт/м}^2$ , а при увеличении показателей с  $2,5$  до  $3$  – только на  $3,1\text{ Вт/м}^2$ » [11, с.

56]. Далее авторы определяют оптимальную толщину утеплителя из минеральной ваты для известной системы навесного вентилируемого фасада в условиях реконструкции зданий обследованных детских садов г. Санкт-Петербурга.

Однако системы утепления и отделки, относящиеся к группе навесных вентилируемых фасадов, обладающие рядом неоспоримых преимуществ, имеют и ряд существенных недостатков, важнейшим из которых представляется себестоимость их устройства, в несколько раз превышающая стоимость устройства «скрепленных» или штукатурных систем [2, 12, 13]. Поэтому и мы далее сосредотачиваемся на совершенствовании менее затратных штукатурных систем утепления наружных стен, причем с использованием в качестве утеплителя исключительно изделий из пеностекла.

Аргументы в поддержку такой технологии обобщены ранее в магистерской диссертации Лесниковой Е.И., результаты которой опубликованы в [14], доложены на международной конференции [15] и запатентованы [16]. Там предложена новая конструкция крепления блоков из пеностекла при помощи оригинальных кронштейнов из углепластика при наружном утеплении и отделке с оштукатуриванием гражданских объектов. Следует отметить, что использование пеностекла в качестве долговечного, надежного и абсолютно негорячего утеплителя пропагандируется многими авторскими коллективами, например, [17, 18, 19]. Последний, действующий российский патент предлагает применение блоков из пеностекла и для заглубленных сооружений оборонного назначения в суровых климатических условиях.

Аналогичные работы выполняются и в Украине под руководством д.т.н., профессоров Савицкого Н.В. и Пшинько А.Н. Эти работы стали составной частью, защищенной в 2016 году докторской диссертации Никифоровой Т.Д., внедрение которой заключалось, в том числе, и в экспериментальном проектировании и строительстве в Днепропетровской области первого в Украине энергоэффективного заглубленного жилого дома «EGG» с его наружным утеплением блоками из пеностекла средней плотностью  $100\text{ кг/м}^3$  [20].

**Цель настоящей работы** заключается в освещении обоснования и содержания наших новых предложений по дальнейшему развитию конструктивно-технологических решений

наружного утепления и отделки стен блоками из пеностекла.

**Задачи исследования** - на основе анализа состояния вопроса повышения экономической и энергетической эффективности разработок по наружному утеплению и отделке ограждающих конструкций гражданских зданий, обоснованно предложить новую конструкцию системы утепления блоками из пеностекла, изложить сущность таких предложений и обозначить пути апробации и рационального развития созданной технологии.

### МЕТОДИКА, РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

Отличительными особенностями ранее упомянутой нашей системы теплоизоляции-прототипа являются крепления к стене блоков пеностекла в виде стартового углепластикового кронштейна снизу и рядового углепластикового кронштейна сверху по размерам блока, расположенным в горизонтальном направлении и прикрепленным к стене с помощью оцинкованных анкеров. Однако, при использовании такой системы необходимо дополнительно закреплять армирующий слой, обычно из стеклосетки, традиционным приклеиванием к ранее

устроенному слою утеплителя и только затем, после твердения клеевого состава, можно приступать к устройству цементно-песчаной штукатурки и окончательной отделке поверхности стены. Кроме того, определенные трудности представляет собой изготовление сложной пространственной формы углепластиковых кронштейнов. Причем, подобные крепежные изделия из углепластика, к сожалению, до настоящего времени остаются достаточно дорогостоящими и дефицитными, а поэтому их использование в нашей системе утепления и отделки далеко не всегда будет оправданным. В некоторых случаях, ориентируясь на срок службы созданной системы в пределах 20-25 лет, кронштейны из углепластика можно заменить на подобные или усовершенствованные, но из дешевой и повсеместно распространенной пластмассы, даже вторичного термоформования и использования.

Исходя из представленного анализа недостатков нашей конструктивной системы-прототипа, в ее развитие, разработана и патентуется как полезная модель (заявка №2017143 853 от 28.12.17г.) усовершенствованная конструктивно-технологическая система наружного утепления и отделки изделиями из пеностекла, представленная на рис. 1.

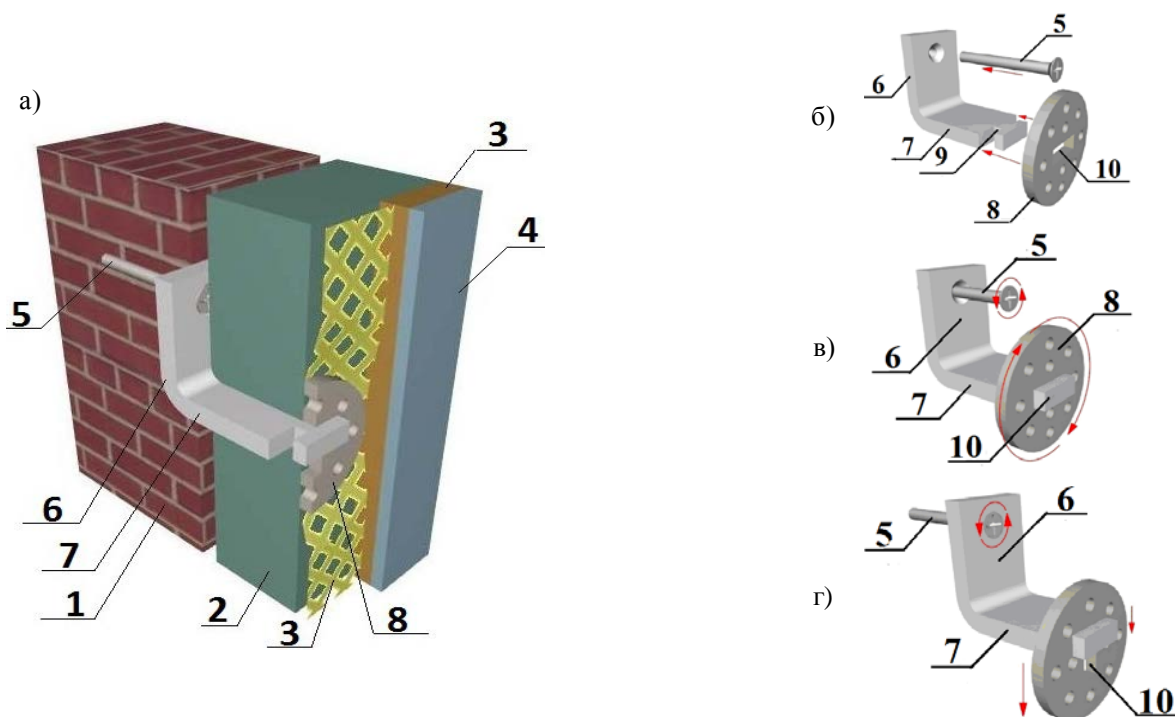


Рис. 1. Конструктивно-технологическая система наружного утепления и отделки стен блоками пеностекла: а) – общий вид в разрезе; б) – г) – этапы сборки элементов крепления блоков на поверхности стеновой конструкции

Сущность технического решения предложенной усовершенствованной системы теплоизоляции стеновых конструкций блоками из пеностекла поясняется графическими материалами, где:

на Рис. 1а, в разрезе по вертикали, представлен фрагмент стены с устроенной системой теплоизоляции с креплениями рядовыми пластиковыми кронштейнами;

Рис. 1б поясняет элементы крепления уголкового кронштейна к стене оцинкованным анкером, а также форму и взаимодействие этой части кронштейна с другой плоской частью в виде шайбы с пазом;

Рис. 1в конкретизирует промежуточные этапы крепления кронштейна к стене и последующего, уже после монтажа блока пеностекла и армирующей стеклосетки, этапа одевания шайбы на горизонтальную полку уголкового кронштейна;

а на Рис. 1г представлено конечное положение установленной шайбы на уголкового кронштейна.

Система теплоизоляции стеновых конструкций 1 блоками 2 из пеностекла содержит снаружи блоков 2 армирующий слой 3 из стеклосетки и облицовочный слой цементно-песчаной штукатурки 4. Рядовой кронштейн крепления блоков 2 к стене 1 ранее сам был прикреплен к стене при помощи оцинкованного анкера 5 и выполнен разъемным из двух частей - уголка 6 с горизонтальной полкой 7 по горизонтальному шву между блоками 2 и вертикально расположенной шайбы 8. На расстоянии, близком к толщине блока 2 от конструкции стены 1, в полке 7 выполнены вырезы 9, а в шайбе 8 имеется паз 10 по размерам, превышающим сечение полки 7. Как вариант, вместо круглой шайбы 8 можно использовать аналогичные элементы другой, например, прямоугольной формы, пластины.

Устройство системы теплоизоляции стеновых конструкций 1 блоками 2 из пеностекла включает ниже следующую последовательность операций. На нижерасположенный блок 2 из пеностекла ставится горизонтальная полка 7, а уголкового кронштейна прижимается к утепляемой стене 1. В последней образуют отверстие, куда устраивают оцинкованный анкер 5, прикрепляя таким образом уголкового кронштейна 6 с полкой 7 к стене 1. Далее на полку 7 укладывают вышерасположенный блок 2 из пеностекла и

приступают к его фиксации вместе с нижерасположенным и армирующей стеклосеткой 3. Для чего эту сетку прорезают и одевают на полку 7 кронштейна 6 до прижатия к блокам 2.

Теперь необходимо надежно зафиксировать такое положение блоков 2 и стеклосетки 3. Для чего через паз 10, надеть шайбу 8 на полку 7 до совмещения паза 10 шайбы 8 с вырезами 9 полки 7. Этот промежуточный момент соединения изображен на рис. 1в. Далее шайбу 8 можно повернуть на  $90^{\circ}$ , а затем переместить по пазу 10 вниз до его окончания, как показано на рис. 1г. Затем процесс монтажа блоков 2 и сетки 3 аналогичным образом распространяется вдоль и вверх стены 1, а с некоторым отставанием от перечисленных работ, устраивается цементно-песчаная штукатурка 4, полностью скрывающая элементы утепления, крепления и ее армирования для последующей долговременной и надежной эксплуатации предложенной системы утепления наружных стен.

Чтобы перейти к практической реализации разработанной и представленной здесь технологии утепления и отделки наружных ограждающих конструкций изделиями из пеностекла, нами предпринимаются и определенные организационные мероприятия. Так, в составе общего Крымского инновационного кластера «Повышение энергетической эффективности производства и ЖКХ с использованием возобновляемых источников энергии» на заседании Научно-экспертного совета технологической платформы «Устойчивое развитие Крыма» 19 мая 2017 года представлено и утверждено направление «Организация сбора, хранения и переработки боя стекла в пеностекло – долговечный, огнестойкий и экологически чистый материал для наружного утепления и отделки гражданских зданий в Крыму». Кроме использования пеностекла в виде стеновых блоков, предполагается разработка технологии наружного утепления и отделки монолитным пеностеклом. Такое направление дальнейших научно-проектных разработок уже анонсировано в статье [21], а также докладах на двух научных конференциях прошлого года [22, 23].

## ВЫВОДЫ

1. Работы по созданию новых и совершенствованию ранее разработанных энергоэффективных и долговечных систем наружного утепления и отделки стен гражданских зданий продолжаются. Одним из перспективных

направлений нам представляется использование для этих целей, в качестве утеплителя, изделий из пеностекла – огнестойкого, долговечного и экологически чистого строительного материала.

2. Предложенная усовершенствованная конструкция крепления блоков из пеностекла при помощи разъемных кронштейнов из пластика или углепластика имеет ряд преимуществ по сравнению с ранее нами разработанной, а именно: возможность одновременного закрепления армирующей сетки преимущественно из стекловолокна, а также упрощение конструкции и технологии изготовления самого кронштейна, что может снизить себестоимость устройства предложенной системы утепления и отделки наружных стен.

3. В дальнейшем мы намерены анализировать и развивать не только конструкции систем утепления и отделки из сборных мелкоштучных пеностекляных изделий, но и использование для этих целей монолитного пеностекла, наносимого как мокрая штукатурка (толщиной до 5 см) или как бетон омоноличивания в инвентарной щитовой опалубке (при большей расчетной толщине одновременно утепляющего и отделочного слоя).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технично-экономическая оценка термомодернизации жилых зданий /Езерский В.А., Монастырев П.В., Клычников Р.Ю. – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 182с.
2. Ресурсозбереження в технології влаштування та відновлення властивостей зовнішніх стін цивільних будівель: Навчальний посібник /В.Т. Шаленний, А.М. Березюк, І.Ф. Огданський, К.Б. Дикарев, А.О. Скокова. - Дніпропетровськ: "Акцент ПП", 2014. – 264с.
3. Романенко Т.Н., Федоркин С.И., Шаленный В.Т. Утепление ограждающих конструкций: Монография /Романенко Т.Н., Федоркин С.И., Шаленный В.Т.; Под редакцией Шаленного В.Т. - "East West" Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, Am Gestade 1, 1010 Vienna, Austria, 2016. - 365с.
4. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» //Жилищное строительство. – 2011. - №8. – С.2-6.
5. Горшков А.С., Ливчак В.И. История, эволюция и развитие нормативных требований к ограждающим конструкциям //Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. -№3(30) – С.3-30.
6. Шаленный В.Т., Мороз В.В. Возможность сокращения сроков окупаемости инвестиций в энергосбережение путем учета и совершенствования и другихресурсосберегающих мероприятий при реконструкции //Строительство и реконструкция. – 2016. - №6(67). – С.108-115.
7. Клычников Р.Ю., Монастырев П.В., Езерский В.А. Анализ влияния изменения временных условий на экономическую эффективность термомодернизации группы жилых зданий //Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2016 году Сборник научных трудов РААСН. Москва, 2017. С. 191-202.
8. Езерский, В. А. Последовательность термомодернизации жилыхзданий и ее влияние на экономическую эффективность /В. А. Езерский, П. В. Монастырев, Р. Ю. Клычников //Жилищное строительство. – 2015. – № 6. – С. 27 – 31.
9. Бакрунов Г.А. Вытчиков А.Ю., Полонский В.М. Особенности расчета расхода тепла на отопление энергоэффективных зданий //Технологии, материалы, конструкции в строительстве. 2003. №5(15). С.33– 39.
10. Горин В.М., Токарева С.А., Вытчиков Ю.С. Современные ограждающие конструкции из керамзитобетона для энергоэффективных зданий //Строительные материалы. - 2011. - №3. - С.34-36.
11. Ватин Н.И., Немова Д.В. Повышение энергоэффективности зданий детских садов //Строительство уникальных зданий и сооружений", 2012, №3. – С. 52-76.
12. Березюк А., Шаленний В., Ніжніковський Г., Скокова А. Огляд та порівняння різних систем фасадної теплоізоляції з легкою штукатуркою за показником вартості //Theoretical Foundations of Civil Engineering. – Warsaw, 2011. - Volume 19. – P. 339 – 344.
13. Влияние прогнозируемого срока эксплуатации на выбор систем утепления зданий /В. Т. Шаленный, Г. С. Нижниковский, К. Б. Дикарев, А. А. Скокова //Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБА, 2008. – № 11. – С. 13–16.
14. Шаленный В.Т., Романенко Т.Н., Лесникова Е.И. Усовершенствованная конструкция и сравнительная эффективность утепления блоками из пеностекла //Строительство и техногенная безопасность. – 2016. - №2(54). – С.61-64.

15. Шаленный В.Т., Романенко Т.Н., Лесникова Е.И. Сравнительная эффективность технологии утепления стен блоками из пеностекла с креплениями из углепластика //Материалы IX междунар. науч.-практич. конф. «Строительство в прибрежных курортных регионах», - 23-27 мая 2016г. – Сочи: РИЦ ФГБОУ ВО «СГУ». – 2016. – С.98-102.

16. Пат. № 162256 U1, Российская Федерация, МПК E04B01/76, E04F13/75 (2006.01). Система теплоизоляции стеновых конструкций /Т.Н. Романенко, В. Т. Шаленный, Е.И. Лесникова. - заявка №2015154841/03. – Заявл. 21.12.2015; опубл. 10.06.2016, Бюл. №16.

17. Чебышев М.В. Конструктивные особенности вентилируемого фасада с утеплителем из пеностекла //Жилищное строительство. – 2015.- №7. – С.27-28.

18. Долговечность ограждающих и несущих конструкций каркасно-панельных зданий серии 1-335АС в условиях г. Сочи /Е.Е. Юрченко, Е.А. Юрченко, А.А. Какосьян, С.А. Кирия //Материалы IX междунар. науч.-практич. конф. «Строительство в прибрежных курортных регионах», - 23-27 мая 2016г. – Сочи: РИЦ ФГБОУ ВО «СГУ». – 2016. – С.103-107.

19. Пат. № 175267 U1, Российская Федерация, МПК E04H9/00. Войсковое фортификационное сооружение для Заполярья /Г.И. Тыцкий, А.В. Широков и др. – Заявл. 01.08.2017; опубл. 29.11.2017, Бюл. №34.

20. Nikiforova Tetiana. Methods and results of experimental researches of thermal conductivity of soils /Nikiforova Tetiana, Mykola Savvitskyi, Karim Limam, Walter Bosschaerts, Rafik Belarbi //Energy Procedia, 2013. – Volume 42. – Pages 775–783 (Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021301847X?np=y>).

21. Шаленный В.Т. Изыскания и отражение проблем безопасности жизнедеятельности в программе «теория и практика организационно-технологических решений» для подготовки магистров-строителей //Строительство и техногенная безопасность. – 2017. - №7(59). – С.37-42.

22. Шаленный В.Т. О целесообразности создания в Крыму цикла переработки отходов стекла в пеностекло - экологически чистый и долговечный утеплитель /XXII международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы инновационного развития экономики», г. Алушта, 10 – 16 сентября 2017г. /Издательство Отечество: Казань-Симферополь-Алушта, 2017. – С.392-397.

23. Шаленный В.Т. Предложения по созданию в Крыму замкнутого цикла сбора и переработки боя стекла в пеностекло – энергоэффективный, экологически чистый и долговечный строительный материал I Всероссийская междисциплинарная научно-практическая конференция (с международным участием) «КРЫМСКАЯ ИНИЦИАТИВА» – Экологическая безопасность регионов: концептуально-теоретические, практические, природоохранные и мировоззренческие аспекты», Симферополь, 5-7 октября 2017г. Симферополь, 2017. – С. 104-108.

## REFERENCES

1. Techno-economic evaluation of thermal modernization of residential buildings /Ezersky V. A., Monastirev P. V., Klychnikov R. Y. – M.: Publishing house ASV, 2010. - 182s.

2. Resursosberegienie technology in vestuvine vbnewline of wlasciwosci towns STN civilnih Budivel: Navalny Oleshko /Shalenny V. T., A. M. Berezyuk, I.F. Bogdanski, K. B. Dorev, A. Skokova. - Dnipropetrovsk: "the Accent of PP", 2014. - 264c.

3. Romanenko T. N., Fedorkin S. I., Shalennyi V. T. Insulation of building envelopes: Monograph /Romanenko T. N., Fedorkin S. I., Shalennyi V. T.; edited by Shalennyi V. T. - "East West" Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, Am Gestade 1, 1010 Vienna, Austria, 2016. - 365c.

4. Gagarin V. G., Kozlov V. V. requirements for thermal protection and energy efficiency in the project of the updated SNiP "Thermal protection of buildings" //Housing construction. - 2011. - No. 8. – С. 2-6.

5. Gorshkov A. S., Livchak V. I. History, evolution and development of normative requirements to the enclosing structures //construction of unique buildings and structures. - 2015. -№3(30) – S. 3-30.

6. Shalenny V. T., Moroz V. V. the Possibility of reducing the payback period of investments in energy saving by taking into account and improving other resource-saving measures during reconstruction //Stroitel'stvo I Rekonstruktsiya. - 2016. - No. 6(67). – P. 108-115.

7. Klychnikov R. Yu., Monastirev p. V., ezerskiy V. A. analysis of the impact of changes in time conditions on the economic efficiency of thermal modernization of residential buildings //Fundamental, exploratory and applied research of RAASN on scientific support of the development of architecture, urban planning and construction industry of the Russian Federation in 2016 Collection of scientific works of RAASN. Moscow, 2017. С. 191-202.

8. Ezersky, V. A. the Sequence of thermal modernization of residential buildings and its impact

- on economic performance /V. A. Ezersky, P. V. Monastyrnev, R. J. Klychnikov //Housing construction. - 2015. – No. 6. - Pp. 27-31.
9. Baronov G. A. Vytchikov A. Y., Polonsky V. M. Peculiarities of calculation of heat consumption for heating of energy efficient buildings Technologies, materials, design and construction. 2003. No. 5 (15). P. 33– 39.
10. Gorin V. M., Tokarev S. A., Vytchikov Yu. s. Modern cladding structures of concrete for energy efficient buildings //Building materials. - 2011. - No. 3. - P. 34-36.
11. Batting N. And ... Nemova D. V. energy efficiency Improvement of kindergarden buildings // construction of unique buildings and structures ", 2012, № 3. - P. 52-76.
12. Berezyuk A., Shalenny V., Nenkovski G., A. skokova look around porwnania RSNA systems fasadno teplosila s lightweight plaster for pokajnica vartest //Theoretical Foundations of Civil Engineering. - Warsaw, 2011. - Volume 19. – P. 339 – 344.
13. The impact of the projected life of the variety of building insulation systems /V. T. Salandy, G. S. Niznikowski, K. B. Dikarev, A. A. skokova //Visnyk Pridneprovska derzhavno Academ budownictwa architecture. – Dnipropetrovsk: PDBA, 2008. – No. 11. – P. 13-16.
14. Shalenny V. T., Romanenko T. N., Lesnikova E. I. Advanced design and comparative efficiency of the insulation foam glass blocks /Building and technogenic safety. - 2016. - №2 (54). - P. 61-64.
15. Shalenny V. T., Romanenko T. N., Lesnikova E. I. Comparative effectiveness of the technology of thermal insulation of walls of foam glass blocks with mounts carbon fiber //proceedings of the 1X international. science.-practical. Conf. "Construction in coastal resort regions", - may 23-27, 2016. - Sochi: RIC FGBOU VO "SSU". - 2016. - P. 98-102.
16. Pat. No. 162256 U1, Russian Federation, IPC E04B01/76, E04F13/75 (2006.01). System of thermal insulation of wall structures /Tn. Romanenko, V. T. Shalennyi, E. I. Lesnikova. - application No. 2015154841/03. - Claimed. 21.12.2015; publ. 10.06.2016, bull. No. 16.
17. Chebyshev, M. V. design features of a ventilated facade with heat insulation foam glass //Housing construction. - 2015.- No. 7. - P. 27-28.
18. The durability of the frame and bearing structures of frame-panel buildings of the series 1-335AC in the conditions of Sochi /E. E. Yurchenko, E. A., Yurchenko A. A. Kakosyan, S. A. Kiria //proceedings of the 1X international. science.-practical. Conf. "Construction in coastal resort regions", - may 23-27, 2016. - Sochi: RIC FGBOU VO "SSU". - 2016. - P. 103-107.
19. Pat. № 175267 U1, Russian Federation, IPC E04N9/00. Military fortification for the Arctic / G. I. Tytsky, A.V. Shirokov, etc. - Declared. 01.08.2017; publ. 29.11.2017, Byul. No. 34.
20. AUPair Girl Alena Nikiforova. Methods and results of experimental studies of thermal conductivity of soils /Nikiforova Tetiana, Mykola Savytskyi, Karim Limam, Walter Bosschaerts, Rafik Belarbi //Energy Procedia, 2013. - Volume 42. - Pages 775-783 (access Mode: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021301847X?np=y>).
21. Shalenny V. T. Research and reflection of the problems of safety in the program "theory and practice of organizational-technological solutions" for the training of masters-builders /Building and technogenic safety. - 2017. - No. 7(59). - P. 37-42.
22. Shalenny V. T. on the feasibility of creating a cycle of recycling glass waste into foam glass in the Crimea - environmentally friendly and durable insulation /XXII international scientific and practical conference "Problems and prospects of innovative development of the economy", Alushta, September 10 – 16, 2017. / Fatherland Publishing House: Kazan-Simferopol' -Alushta, 2017. - P. 392-397.
23. Shalenny V. T. Proposals for the creation of a closed cycle in the Crimea collection and processing of glass in the foam glass – energy efficient, environmentally friendly and durable building material I all-Russian interdisciplinary scientific and practical conference (with international participation) "CRIMEAN INITIATIVE" – Environmental safety of regions: conceptual, theoretical, practical, environmental and ideological aspects", Simferopol, 5-7 October 2017. Simferopol, 2017. – P. 104-108.

CONSERVATION DEVELOPMENT OF CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL  
SOLUTIONS OF THERMAL INSULATION AND EXTERIOR WALLS OF FOAM GLASS BLOCKS

Shalenny V.T., Drewniak O.

**Summary.** Provided advanced design external insulation and walls of civic buildings blocks of foam glass-energy efficient and durable building materials made of industrial and household waste glass battlefield. Improvement is the new patented system of fastening of foam glass blocks using the detachable plastic brackets. Showing the advantages and technological peculiarities of execution of works on the proposed constructive-technological system

**Key words:** energy efficiency, technology of external insulation and finishing products from foam glass.

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНОЙ СТРУКТУРЫ ЗАДАННОГО КАЧЕСТВА ДЛЯ  
ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ ВТОРИЧНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ПОЛИМЕРНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ

Дядичев В.В.\* , Колесников А.В.\*\* , Дядичев А.В.\* , Дядичева Е.А.\*

«ФГАОУ ВО "КФУ им. В.И. Вернадского»

Адрес: г. Симферополь, ул. Павленко, 3, корпус 2, к. 108

\*\*ГОУ ВПО Луганской Народной Республики «Луганский национальный университет имени Владимира  
Даля»

Адрес: г. Луганск, ул. Тухачевского, 11, к. 103

e-mail [mr.dyadichev@mail.ru](mailto:mr.dyadichev@mail.ru); e-mail [angeykav@mail.ru](mailto:angeykav@mail.ru); e-mail [adyadichev@mail.ru](mailto:adyadichev@mail.ru); e-mail [dyadicheva-e@mail.ru](mailto:dyadicheva-e@mail.ru)

**Аннотация.** По результатам проведенных исследований в статье представлен анализ экологического состояния строительных и полимерных отходов. Обоснована необходимость дальнейших исследований в области совершенствования модели формирования многослойной структуры заданного качества для процесса переработки данных отходов. Разработаны эталонные математические модели смеси из отходов полимеров и строительных материалов разработаны для наиболее часто используемых типов смесей. Для существующей практики подготовки смеси из отходов полимерных и строительных материалов определены объемные расходы компонентов устанавливаются по рецептам.

**Ключевые слова:** Многослойная структура, модель, качество вторичного изделия, строительные и полимерные отходы, соэкструзия, экструдер, вязкость, напряжение сдвига, наполнитель.

## ВВЕДЕНИЕ

Перспективным современным направлением исследований является создание новых многослойных структур.

Многослойная структура - это композиция, состоящая из двух и более слоев разнородных материалов.

В нашей работе мы будем рассматривать формирование многослойной структуры, включающей вторичные строительные и полимерные материалы.

Переработка отходов строительных и полимерных материалов является важной задачей. Использование таких отходов в многослойной структуре позволит создать новое изделие, имеющее высокие качественные показатели за счет использования в качестве внешних слоев качественных первичных материалов.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Основной целью создания многослойной структуры является сочетание в одном изделии

эксплуатационных свойств материалов, обеспечить которые каким-либо одним невозможно.

Авторами предлагается сформировать пятислойную структуру, которая включает внешние слои из первичного полимерного материала, средний слой из смеси отходов строительных и полимерных материалов, наполнителя и первичного полимерного материала, между которыми находятся два адгезивных слоя, обеспечивающих прочное соединение внешних слоев со средним.

Сформировать данную многослойную структуру мы можем технологией соэкструзии. Таким образом, мы получаем новый способ утилизации отходов строительных и полимерных материалов.

Из существующих способов утилизации отходов строительных и полимерных материалов, как с экономической, так и с экологической точки зрения наиболее выгодный способ вторичной переработки отходов из строительных и полимерных материалов. Вторичная переработка позволяет за счет использования строительного и полимерного сырья, бывшего в употреблении, совместно с наполнителями и первичным сырьем

сделать значительную экономию первичного начального полимера, а, следовательно, сбережения средств за счет такого использования.

При этом реализуются части следующих важных современных практических задач: ресурсосбережение, энергосбережения и экологическая задача.

Ресурсосбережение - происходит из-за экономии исходного полимерного сырья, поскольку вместо него частично используются отходы. Энергосбережение обеспечивается как экономией за счет отсутствия стадии синтеза полимерного материала, так и сбережением исходного сырья по производству полимеров - нефти. Экологическая задача решается непосредственно, поскольку утилизируют отходы, не нанося вреда окружающей среде.

Основным этапом для процесса соэкструзии многослойной структуры является экструзия среднего слоя, включающего смесь отходов строительных и полимерных материалов, наполнителя и первичного полимерного материала.

Качество переработки сырья для среднего слоя является определяющим показателем для качества получаемого вторичного изделия. Данное качество складывается из получения качественного полимерного расплава, который имеет однородное температурное поле, отсутствие пульсаций давления и гомогенность. Таким образом, при правильном проектировании процесса экструзии, как завершающего этапа переработки отходов строительных и полимерных материалов возможно сочетание в нем стадий подготовки сырья и окончательной переработки. При этом достигается значительная экономия энергии, поскольку процессы грануляции и агломерации очень энергоемкими.

Также на качество получаемой многослойной структуры непосредственное влияние оказывает процентное распределение компонентов для среднего слоя – отходов строительных и полимерных материалов, наполнителя и первичного полимерного материала

## ЦЕЛЬ

Предложить и обосновать модель формирования многослойной структуры заданного качества для процесса переработки вторичных строительных и полимерных материалов, которая бы позволила в зависимости от предъявляемых требований к прочности изделия определить оптимальное сочетание компонентов смеси

## МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Известно, что реологические свойства структурированных смесей определяются двумя параметрами: вязкостью  $\eta$  и предельным напряжением сдвига  $\tau_0$ .

Вязкость смеси из отходов полимеров является оптимальной, если приготовленная на ее основе смесь из отходов полимеров обладает минимально необходимой подвижностью (пластичностью). Оптимальную пластичность смеси  $P_{см}$  можно установить, как функцию динамической вязкости  $\eta$  и величины касательных напряжений, возникающих при перемещении смеси по каналам экструдера и головки  $\tau$ , т.е.  $P_{см} = f(\eta, \tau)$ .

Оптимальная пластичность смеси, удовлетворяющая требованиям транспортабельности, находится в пределах от 1 до 6 г/10 мин. Такая пластичность достигается при использовании наполнителя в соотношении от 0,2 до 0,6, т.е. при расходе наполнителя от 200 до 600 м<sup>3</sup> на 1000 м<sup>3</sup> смеси. При расходе наполнителя более 600 м<sup>3</sup> смесь получается излишне вязкой и нетранспортабельной, а при расходе наполнителя менее 200 м<sup>3</sup> ухудшаются физико-механические свойства, влияющие на пластичность смеси (таблица 1).

Таблица 1. Влияние расхода наполнителя на пластичность смеси

№	Расход наполнителя, м <sup>3</sup> на 1000 м <sup>3</sup> смеси	Показатели пластичности смеси
1.	< 200	Ухудшаются физико-механические свойства, влияющие на пластичность смеси
2.	200 – 600	Оптимальная пластичность смеси, удовлетворяющая требованиям транспортабельности
3.	> 600	Смесь получается излишне вязкой и нетранспортабельной

Предельное напряжение сдвига  $\tau_0$  - это сила, которую надо приложить к смеси, чтобы началось ее течение. В дальнейшем, течение происходит по закону вязкой жидкости, как и при отсутствии структуры. Поведение структурированных суспензий в общем виде может определяться уравнением Шведова-Бингама, применительно к вязкопластичным системам:

$$\tau - \tau_0 = \eta_{nl} \cdot \frac{dv}{dr}, \quad (1)$$

где  $\eta_{nl}$  - коэффициент пластической вязкости;

$$\frac{dv}{dr} - \text{градиент скорости (скорость сдвига)}.$$

Предельное напряжение сдвига  $\tau_0$  также существенным образом зависит от используемого наполнителявяжущего отношения. Исходя из условий соэкструзии смеси в многослойную структуру, и того, что смесь транспортируется по каналам экструдера и соэкструзионной головки, целесообразно принять, что предельное напряжение сдвига  $\tau_0$  приготовленной смеси должно быть меньше максимально допустимого  $\tau_{0дон}$ , т.е. имеется ограничение по части снижения расхода наполнителя, и использовать максимально допустимое напряжение сдвига  $\tau_{0дон}$  и напряжения сдвига смеси  $\tau_0$  в качестве параметра смеси. Выбор остановлен на данной реологической характеристике смеси, как наиболее важной с точки зрения предотвращения образования пробок и закупорок каналов (на соэкструзионном оборудовании в зависимости от размеров и конструкции экструдера и головки регламентируется значение  $\tau_{0дон}$ ), а также в связи с простотой и удобством измерения этой характеристики в лабораторных условиях.

Расход первичного полимера  $m_{nn}^3$ , нормативная прочность создаваемого изделия  $R$ , предельное напряжение сдвига  $\tau_0$  для смеси, выступая в качестве параметров смеси, зависят от следующих факторов:

- соотношения объемных масс компонентов в 1 м<sup>3</sup> смеси (наполненные отходы,  $m_{но}$ ; вторичное сырье (полимерные и строительные отходы),  $m_{ec}$ ; первичный полимер,  $m_{nn}$ ; наполнитель,  $m_n$ );

- нормативная прочность многослойного изделия,  $R$ ;

- установленное предельное напряжение сдвига,  $\tau_0$ ;

- удельная поверхность материала наполнителей,  $S$ ;

- наполнителявяжущее отношение,  $\frac{m_n}{m_{nn}}$  для

смесей на основе первичного полимера,  $\frac{m_n}{m_{но}}$  для

сложного вяжущего;

- гранулометрический состав активного и инертного наполнителей,  $q_{но}$  и  $q_{en}$ .

Т.е. необходимую объемную массу  $m_{nn}^3$  первичного полимера, прочность изделия  $R$  и предельное напряжение сдвига  $\tau_0$  можно представить как функции нескольких переменных  $z_i$ :

$$R = f_1(z_{1R}, \dots, z_{nR}); \quad (2)$$

$$\tau_0 = f_2(z_{1\tau_0}, \dots, z_{n\tau_0}); \quad (3)$$

$$m_{nn}^3 = f_3(z_{1m_n}, \dots, z_{nm_n}). \quad (4)$$

Если использовать в качестве функции цели определение объемной массы первичного полимера  $m_{nn}^3$ , необходимой для приготовления смеси из отходов полимерных и строительных материалов с предельным напряжением сдвига  $\tau_0$  и формированием соэкструзионного изделия прочностью  $R$  в зависимости от фактических значений масс остальных компонентов, их гранулометрического состава и удельной поверхности наполнителя, то в качестве ограничений следует использовать условия обеспечения нормативной прочности соэкструзии  $R > R_{дон}$  и предельного напряжения сдвига смеси  $\tau_0 \leq \tau_{0дон}$ . Следовательно, возможно построение модели смеси вида:

$$m_{nn}^3 = f(m_{ec}, m_{но}, m_n, q_{en}, q_{но}, S, R_N); \quad (5)$$

$$R \geq R_{дон}; \quad (6)$$

$$\tau_0 \leq \tau_{0дон}. \quad (7)$$

Исследования параметров смеси с применением методов математического

моделирования целесообразно провести первоначально для части определяющих факторов, ограничившись лишь изучением влияния расходов компонентов на параметры смеси. Это позволит нам, существенно упростив модель, выявить основные закономерности, существующие между факторами и параметрами смеси. Затем, на этапе проверки и практической реализации модели могут быть введены соответствующие поправки в модель, учитывающие влияние остальных факторов. Такой подход оправдан также, в связи со сложностью осуществления оперативного контроля гранулометрического состава компонентов и удельной поверхности наполнителя.

При существующей практике подготовки смеси из отходов полимерных и строительных материалов, объемные расходы компонентов устанавливаются согласно рецептам, рекомендуемым для получения смеси (многослойного изделия) требуемой прочности (15,5 МПа; 21,5 МПа; 33,0 МПа; 55,0 МПа) в соответствии с толщиной слоя и используемых вторичных полимеров и строительных материалов (рис. 1). Поэтому разработку эталонных математических моделей смеси следует осуществить для этих же, фиксированных значений нормативной прочности конструкции. Это дает возможность, сузив диапазон изменения факторов, описать существующие зависимости с помощью моделей более низкого порядка. Последнее значительно упрощает организацию эксперимента и обработку результатов, повышает надежность полученных характеристик.

Решение модели (5) - (7) позволит осуществить косвенную оценку каждого показателя  $m_{nn}^3$ ,  $R$ ,  $\tau_0$  и определить влияние каждого фактора ( $m_{ec}$ ,  $m_{no}$ ,  $m_{no}$ ) на расход первичного полимера. Это дает возможность корректировать расход первичного полимера при изменении любого фактора, поддерживая однородность смеси.

Эталонные математические модели смеси из отходов полимеров и строительных материалов разработаны для наиболее часто используемых типов смеси: первичный полимер + смесь вторичных отходов полимеров и строительных материалов, отходы строительных и полимерных

материалов с наполнителем + первичный полимер + смесь вторичных отходов полимерных и строительных материалов.

Для определения уравнений модели смеси: отходы полимеров и строительных материалов с наполнителем + первичный полимер + смесь вторичных отходов полимеров и строительных материалов, коэффициенты которых приближенно воспроизводят свойства действительно существующей в объекте зависимости  $m_{nn}^3 = f(m_{ec}, m_{no}, m_n, R_N)$  в окрестности некоторого сочетания аргументов (факторов)  $m_{ec0}$ ,  $m_{no0}$ ,  $m_{n0}$ , называемых базовыми, использован статистический метод планирования эксперимента (метод полного факторного эксперимента).

Тогда общий вид уравнений регрессии для разрабатываемой модели смеси имеет вид:

$$m_{nn}^3 = a_{0m} + a_{1m} \cdot x_1 + a_{2m} \cdot x_2 + \dots + a_{nm} \cdot x_n; \quad (8)$$

$$R = a_{0R} + a_{1R} \cdot x_1 + a_{2R} \cdot x_2 + \dots + a_{nR} \cdot x_n; \quad (9)$$

$$\tau_0 = a_{0\tau_0} + a_{1\tau_0} \cdot x_1 + a_{2\tau_0} \cdot x_2 + \dots + a_{n\tau_0} \cdot x_n; \quad (10)$$

где  $a_{ij}$  - коэффициенты уравнений регрессии ( $i = 0, 1, \dots, n$ ;  $j = m, R, \tau_0$ );

$x_i$  - факторы, оказывающие влияние на функцию отклика;

$n$  - число факторов.

Модель смеси: первичный полимер + смесь вторичных отходов полимеров и строительных материалов отличается от смеси: отходы полимеров и строительных материалов с наполнителем + первичный полимер + смесь вторичных отходов полимеров и строительных материалов значениями коэффициентов уравнений  $a_{ij}$  и отсутствием фактора, соответствующего компоненту наполненные отходы полимеров и строительных материалов.

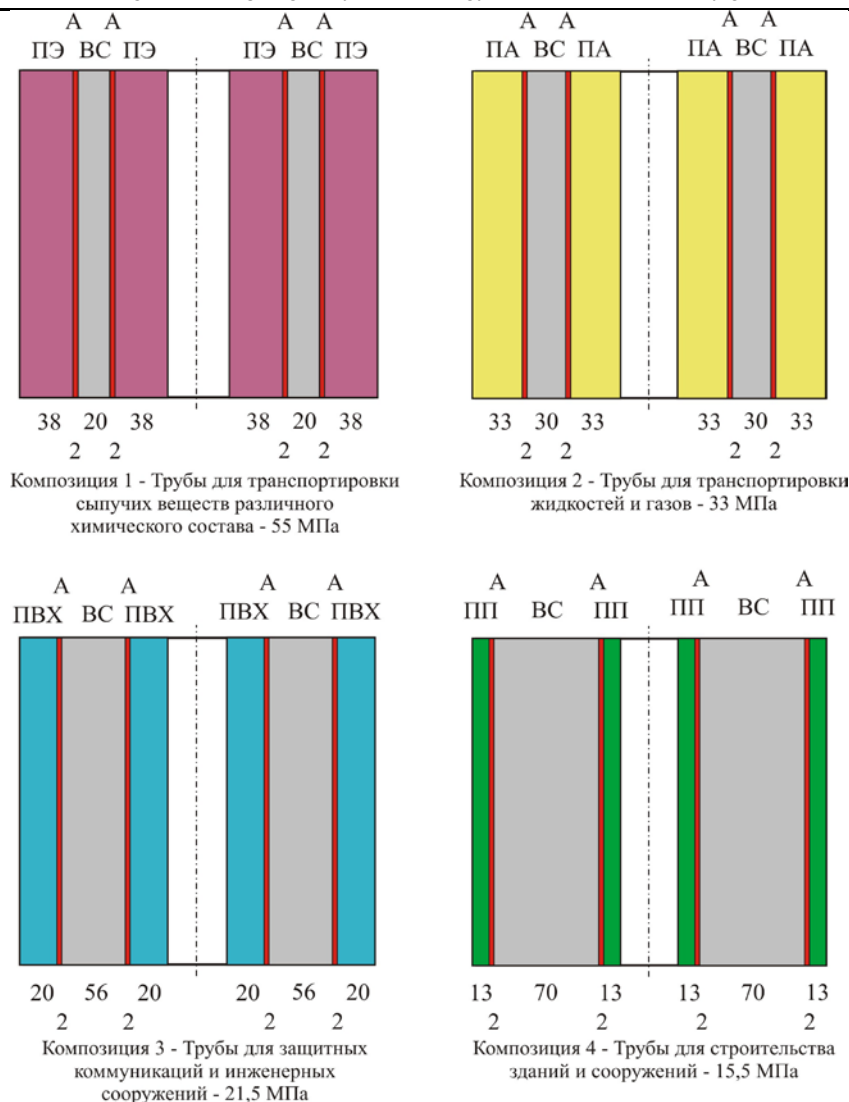


Рис. 1. Многослойные композиции при соэкструзии со вторичными полимерными и строительными материалами: ПЭ – полиэтилен, ВС - вторичное сырье, ПА – полиамид, ПВХ – поливинилхлорид, ПП – полипропилен, А – адгезив.

## ВЫВОДЫ И НАПРАВЛЕНИЕ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Разработаны эталонные математические модели смеси из отходов полимеров и строительных материалов разработаны для наиболее часто используемых типов смеси: первичный полимер + смесь вторичных отходов полимеров и строительных материалов, отходы строительных и полимерных материалов с наполнителем + первичный полимер + смесь вторичных отходов полимерных и строительных материалов.

Для существующей практики подготовки смеси из отходов полимерных и строительных материалов определены объемные расходы компонентов устанавливаются по рецептам, рекомендуемым для получения смеси (многослойного изделия) требуемой прочности (15,5 МПа; 21,5 МПа; 33,0

МПа; 55,0 МПа) в соответствии с толщиной слоя и используемых вторичных полимеров и строительных материалов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках научного проекта 10.1622.2017/4.6

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Локотош Б.Н., Дядичев В.В., Леваничев В.В. Моделирование процессов соэкструзии. - Луганск; издат-во ВУГУ, 1998. – 74с.
2. Grooved Feed Single Screw Extruders — Improving Productivity and Reducing Viscous Heating Effects. B. Davis et al., / Polym. Eng. Sci., 1998, vol 38, 7, - p. 1199.
3. Pape J., Potente H., Obermann C. Influence of Model Simplifications on the Accuracy of Simulation Results in Single Screw Extruders / 15th Annual

Meeting of the Polymer Processing Society, Den Bosch, the Netherlands. – 1999.

4. Мак-Келви. Д. Переработка полимеров. - М.: Химия, 1965. - 368 с.

5. Ким В.С. Диспергирование и смешение в процессах производства пластмасс. - М.: Химия, 1988. – 293 с.

6. Rauwendaal C. Polymer extrusion. – Munich, Hauser Garduer, 2001. – 777 p.

7. Смирный М.Ф., Локотош Б.Н., Дядичев В.В., Леваничев В.В. Технология многослойного формования полимерных структур. – Луганск: издат-во ВУГУ, 1998. – 85с.

8. Spalding M.A., Dooley J., Hyun K.S. The Effect of Flight Radii Size on the Performance of Single-Screw Extruders, SPE ANTEC, - 1999. - P. 190-194.

9. Бернхардт Э. Переработка термопластичных материалов. Перевод с англ. Р. В. Торнера, Е. В. Закс и др., Под ред. Г. В. Виноградова. – М.: «Химия», 1965. – 747 с.

#### REFERENCES

1. Lokotosh B. N., Dyadichev V. V., Ivanichev V. V. Modeling of processes of coextrusion. - Lugansk; published-in VUGU, 1998. - 74с.

2. Grooved Feed Single Screw Extruders-Improving Productivity and Reducing Viscous Heating

Effects. B. Davis et al., / Polym. Eng. Sci., 1998, vol 38, 7, - p. 3. 1199.

3. Pape J., Potente H., Obermann C. Influence of Model Simplifications on the access of Simulation Results in Single Screw Extruders / 15th Annual Meeting of the Polymer Processing Society, Den Bosch, the Netherlands. - 1999.

4. Mac Kelvie. D recycling of polymers. - Moscow: Chemistry, 1965. - 368 p.

5. Kim V. S. Dispersion and mixing in plastics production processes. - Moscow: Chemistry, 1988. - 293 p.

6. Rauwendaal C. Polymer extrusion. - Munich, Hauser Garduer, 2001. - 777 p.

7. Smirny M. F., Lakatos B. N., Dyadichev V. V., Ivanichev V. V. Technology of multilayer molding of polymeric structures. - Lugansk: published in VUGA, 1998. - 85C.

8. M. A. Spalding, J. Dooley, K. S. Hyun, The Effect of Flight Radii Size on the Performance of Single-Screw Extruders, SPE ANTEC, new York, 1999. - P. 190-194.

9. E. Bernhardt, Processing of thermoplastic materials. Translation from English. R. W. Turner, E. V. Sachs, and others, Under the editorship of G. V. Vinogradov. - Moscow: "Chemistry", 1965. - 747 p.

#### MODEL FOR FORMING A MULTILAYER STRUCTURE OF THE QUALITY ASSURED FOR THE PROCESS OF PROCESSING SECONDARY BUILDING AND POLYMERIC MATERIALS

Dyadichev V.V., Kolesnikov A.V., Dyadichev A.V., Dyadicheva E.A.

**SUMMARY** Based on the results of the studies, the article presents an analysis of the ecological state of construction and polymer wastes. The necessity of further research in the field of improving the model of the formation of a multilayer structure of a given quality for the process of processing this waste is substantiated. The standard mathematical models of a mixture of waste polymers and building materials have been developed for the most commonly used types of mixtures. For the existing practice of preparing a mixture of waste polymer and building materials, the volumetric costs of components are determined by prescription.

**Keywords:** Multilayer structure, model, secondary product quality, construction and polymer waste, coextrusion, extruder, viscosity, shear stress, filler.

УДК 624.6+533.6

## АЭРОДИНАМИКА ВИСЯЧИХ МОСТОВ

Чемодуров В. Т.<sup>1</sup>, Кузьменко О.А.<sup>2</sup>.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)  
 ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,  
 295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181  
 e-mail: chens\_mu1@mail.ru; olya.kuzy@mail.ru

**Аннотация.** В последнее время широкое применение в практике приходится на проектирование мостов висячей конструкции, как наименее затратных. Однако стремление к облегчению конструкции приводит к росту чувствительности таких мостов к воздушному потоку в период сильных ветров. Возникающие при этом аэродинамические нагрузки оказывают влияние на прочностные характеристики пролетов таких мостов. Определение критического соответствия устойчивости пролетов висячих мостов к аэродинамическим нагрузкам является актуальной задачей при предварительном проектировании сооружений данного типа. Таким образом, целью данной статьи является определение зон динамической устойчивости пролетов висячего моста, которые зависят от скорости набегающего потока воздуха. В качестве модели пролета висячего моста используется плоская пластина. Для определения положения пластины в любой момент времени используются уравнения Лангранжа второго рода. В работе используется одномерный подход к построению зон устойчивости пластины к ветровой нагрузке при постоянной толщине. Критерием задачи является критическое отношение длины полотна пролета к его ширине. Далее приводится метод нахождения функциональной связи критических параметров полотна от двух переменных: толщины полотна и скорости потока воздуха. Данный метод опирается на правила рототабельного планирования экспериментов.

**Ключевые слова:** висячие мосты, аэродинамика, устойчивость, крутильные колебания, изгибные колебания, рототабельное планирование.

## ВВЕДЕНИЕ

Висячие мосты находят широкое применение в настоящее время, так как обладают определенными преимуществами перед мостами других видов. Главное достоинство данного вида мостов заключается в минимальном расходовании ресурсов на их создание при довольно больших пролетах между опорами. Также их преимущество состоит в том, что пролеты моста могут быть сооружены на достаточно большой высоте, что имеет важное значение для перекрытия судоходных фарватеров и прохода судов любого водоизмещения.

Несмотря на перечисленные преимущества висячие мосты обладают существенными недостатками – могут изгибаться под действием ветровой нагрузки. Поэтому требуется обязательный анализ и расчет реакции пролетов висячего моста на его изгибные и крутильные колебания.

При штормовых погодных условиях движение по таким мостам становится опасным. Особенно прогибы висячего моста при аэродинамических нагрузках оказывают влияние на движение железнодорожного транспорта.

Таким образом, исследование влияния аэродинамических нагрузок на динамическую устойчивость пролетов висячих мостов, несомненно, актуальное. Динамическая устойчивость пролетов висячих мостов зависит от их геометрических характеристик (в плане). В этом случае достаточно определить критическую величину отношения длины пролета ( $L_x$ ) к его ширине ( $L_y$ ) при заданной скорости ветра, чтобы иметь начальные условия для его проектирования.

Данная статья направлена на выявление зон динамической устойчивости пролетов висячего моста в зависимости от скорости набегающего потока воздуха. Для наглядности исследования представим пролет висячего моста его моделью в виде плоской пластины, с приведенной толщиной  $h$  и жестким креплением на концах (рис. 1).

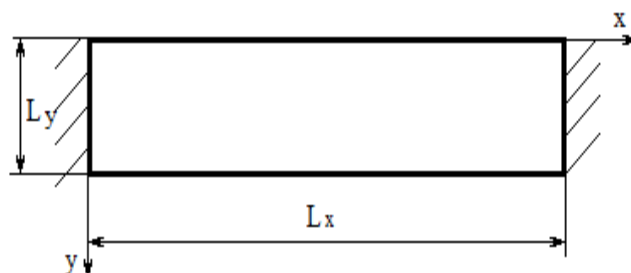


Рис. 1. Модель пролета висячего моста

Fig. 1. The model of span of a suspension bridge

Введем обозначения для прогиба оси жесткости  $w(x, t)$ , характеризующая изгибные колебания и угла закручивания  $\theta(x, t)$ , характеризующая крутильные колебания.

Обе указанные характеристики можно представить в виде произведений двух независимых функций

$$\left. \begin{aligned} w(x, t) &= q_1(t) \cdot f(x), \\ \theta(x, t) &= \varphi(x). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Здесь  $q_1(t)$  – перемещение точки на оси  $x$  во времени, для которой форма колебаний  $f(x) = 1$ ;  $q_2(t)$  – угол колебания сечения пластины во времени, для которого форма  $\varphi(x) = 1$ . Для симметричной однородной пластины эта точка находится в ее центре  $x = L_x/2$ ,  $y = L_y/2$ . Таким образом, положение пластины в любой момент времени можно описать двумя уравнениями свободных колебаний пластины. Для этого воспользуемся уравнениями Лангранжа второго рода

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} = Q_i(t), \quad i = 1, 2. \quad (2)$$

Кинетическая и потенциальная энергии для системы с двумя степенями свободы имеет вид

$$\left. \begin{aligned} T &= \frac{1}{2} (a_{11} \dot{q}_1^2 + 2a_{12} \dot{q}_1 \dot{q}_2 + a_{22} \dot{q}_2^2), \\ \Pi &= \frac{1}{2} (c_{11} q_1^2 + 2c_{12} q_1 q_2 + c_{22} q_2^2). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Как правило, в пролетах висячих мостов линия центров жесткости и линия центров тяжести совпадают. В этом случае исчезают центральные члены в формулах (3). Оставшиеся коэффициенты имеют следующий вид

$a_{11} = \int_0^1 m_0 [f(x)]^2 dx$  – приведенная масса чисто изгибных колебаний.

$a_{22} = \int_0^1 J_m [\varphi(x)]^2 dx$  – приведенная масса чисто крутильных колебаний.

$c_{11} = \int_0^1 EJ [f''(x)]^2 dx$  – приведенная жесткость чисто изгибных колебаний.

$c_{22} = \int_0^1 GJ_p [\varphi''(x)]^2 dx$  – приведенная жесткость чисто крутильных колебаний.

В приведенные формулы входят следующие физические величины:  $m_0$  – погонная масса пластины;  $J_m = m_0 L_y^2 / 12$  – погонный массовый

момент инерции;  $E, G$  – модули упругости первого и второго рода;  $J_p = h L_y^3 / 12$  – полярный момент сечения.

После подстановки уравнений (3) в выражение (2) (с учетом сделанного выше допущения), получим систему, состоящую из двух дифференциальных уравнений

$$\left. \begin{aligned} a_{11} \ddot{q}_1 + c_{11} q_1 &= Q_1(t), \\ a_{22} \ddot{q}_2 + c_{22} q_2 &= Q_2(t). \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Как указывалось выше, точка приведения находится в центре пластины. Форму изгибных и крутильных колебаний для жесткого крепления концов пластины можно описать одной зависимостью.

$$f(x) = \varphi(x) = \sin \frac{\pi x}{L_x} \quad (5)$$

Определим коэффициенты, входящие в формулу (4).

$$\left. \begin{aligned} a_{11} &= \int_0^{L_x} m_0 \cdot \sin^2 \frac{\pi x}{L_x} dx = \frac{1}{2} \rho h L_x L_y, \\ a_{22} &= \int_0^{L_x} J_m \sin^2 \frac{\pi x}{L_x} dx = \frac{m_0 L_x L_y^2}{24}, \\ c_{11} &= \int_0^{L_x} EJ \left( \frac{\pi}{L_x} \right)^4 \sin^2 \frac{\pi x}{L_x} dx = \frac{\pi^4 EJ}{2L_x^3}, \\ c_{22} &= \int_0^{L_x} GJ_p \left( \frac{\pi}{L_x} \right)^4 \sin^2 \frac{\pi x}{L_x} dx = \frac{\pi^4 GJ_p L_y}{2L_x^3}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Обобщенные силы, входящие в уравнения (4) имеет вид

$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= \int_0^{L_x} F_0 f(x) dx = \frac{2F_0 L_x}{\pi}, \\ Q_2 &= \int_0^{L_x} M_0 \varphi(x) dx = \frac{2M_0 L_x}{\pi}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

В формулах (6) и (7) все физические величины, имеющие индекс ноль, являются погонными (имеющими значения на единицу длины пластины).

$$\left. \begin{aligned} m_0 &= \rho h L_y, \\ J_{m_0} &= \frac{1}{12} \rho h L_y^3. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Аэродинамические силы, действующие на пластину единичной длины, определяем по законам аэродинамики

$$\left. \begin{aligned} F_0 &= c_y^\alpha \alpha \frac{\rho_0 v^2}{2} L_y, \\ M_0 &= m_z^\alpha \alpha \frac{\rho_0 v^2}{2} L_y^2. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Здесь  $\rho_0$  – плотность воздуха;  $v$  – скорость воздушного потока.

Производные коэффициентов подъемной силы и крутящего момента по углу атаки определяются по эмпирическим зависимостям.

$$\left. \begin{aligned} c_y^\alpha &= \frac{2\pi L_x}{L_x + 4L_y}, \\ m_z^\alpha &= c_y^\alpha \frac{x_m - x_d}{L_y}. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

В последних формулах  $x_m$  – координата центра масс;  $x_d$  – координата центра давления.

Представленная математическая модель динамики пластины (4) – (10) позволяет найти критические области ее геометрических характеристик для фиксированной толщины от скорости набегающего потока воздуха. Ограничениями задачи являются прочностные характеристики материала.

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= \frac{M_n}{W} = \frac{F_0 L_x^2}{2\pi W} \leq [\sigma], \\ \tau &= \frac{M_{изг}}{W_p} = \frac{2M_0 L_x}{\pi W_p} \leq [\tau]. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Здесь:  $W = L_y h^2 / 6$  – момент сопротивления при изгибе пластины;  $W_p = L_y h^2 / 3$  – полярный момент сопротивления для сечения  $\frac{L_y}{h} \geq 0$ .

Результаты исследования математической модели динамики пластины представлены в табличном виде (табл.1)

Таблица 1.

$h(m)$	$v(m/c)$	$f(x) = (L_x/L_y)_{кр}$	$\varphi(x)$
0,1	20	30,5	30,31
	30	20,75	21,36
	40	16,25	15,67
	50	13,0	13,22
0,05	20	16,0	15,925
	30	11,0	11,225
	40	8,5	8,28
	50	7,0	7,08

Критические значения  $(L_x/L_y)_{кр}$  делят области геометрических размеров на допустимые соотношения и недопустимые в зависимости от скорости воздуха.

Полученные табличные значения аргумента  $x_i$  функции  $(L_x/L_y)_{кр}$  целесообразно аппроксимировать единой функциональной зависимостью.

Чаще всего задача аппроксимации решается с помощью многочленов. Для оценки близости аппроксимируемой функции к ее табличным значениям выбирается критерий согласия. Наиболее универсальными критериям согласия является такой, который обоснован на методе наименьших квадратов.

$$\rho = \min \sum_{i=1}^n [f(x_i) - \varphi(x_i)]^2. \quad (12)$$

Здесь  $f(x_i)$  – функция, заданная табличным способом;  $\varphi(x_i)$  – аналитическая функция.

Таким образом, необходимо найти функцию  $\varphi(x)$ , которая в точках  $x_i, i = \overline{1, n}$  принимает значения как можно ближе к табличным значениям  $f(x)$  в тех же точках. В результате анализа различного вида функций наиболее подходящей в данном случае является полином второго рода.

$$y = a + bx + cx^2. \quad (13)$$

Неизвестные коэффициенты функции (13) находятся путем решения линейных уравнений

$$\left. \begin{aligned} an + b \sum x + c \sum x^2 &= \sum y, \\ a \sum x + b \sum x^2 + c \sum x^3 &= \sum (x \cdot y), \\ a \sum x^2 + b \sum x^3 + c \sum x^4 &= \sum (x^2 \cdot y). \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

В данном случае аргументом является скорость воздуха ( $x = v$ ), а функцией отношение геометрических размеров пластины  $(L_x/L_y)$ .

После решения системы линейных уравнений (14) будем иметь следующие функции:

– для  $h = 0.1$  м –  
 $\varphi(x) = 57,95 - 1,707v + 0,01624v^2$ ;  
 – для  $h = 0.05$  м –  
 $\varphi(x) = 30,58 - 0,908v + 0,00875v^2$ .

Критерий согласия данных полиномов имеет минимальное значение из всех исследуемых ранее стандартных зависимостей.

Так для  $h = 0,1$  мр = 0,793 м<sup>2</sup>, для  $h = 0,05$  мр = 0,111 м<sup>2</sup>. Результаты исследований показаны на рисунке 2.

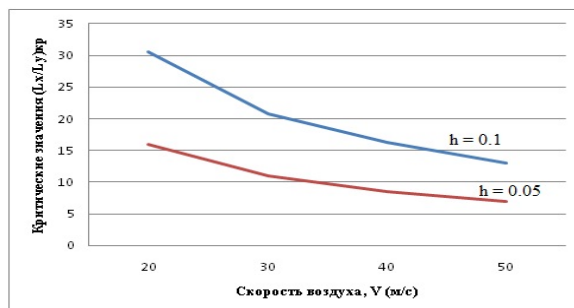


Рис.2. Границы динамической устойчивости пластины

Fig.2 Limitsofplatedynamicstability

Представленные на рисунке 2 границы динамической устойчивости пластины не всегда удобны, так как их приходится искать для различных значений толщины пластины. Для объединения влияния и скорости, и толщины пластины на критическое отношение размеров пластины в плане предлагается подход, основанный на теории планирования экспериментов.

Статическую математическую модель при наличии нескольких аргументов можно построить для некоторой локальной области факторного пространства, лежащей в окрестности выбранной точки  $L$  – центра плана.

Для построения полинома второго порядка применим правила рототабельного планирования. Выберем следующий центр плана.

$L(h = 0,07$  м;  $v = 30$  м/с).

Верхний и нижний уровни факторов соответственно равны

$h_2 = 0,1$  м;  $v_2 = 40$  м/с.  
 $h_1 = 0,04$  м;  $v_1 = 20$  м/с.

Рототабельное планирование позволяет получить более точное математическое описание поверхности исследуемой функции за счет большего числа экспериментов в центре плана..

Рототабельный план представлен в таблице 2.

Таблица 2.

N	$z_h$	$z_v$	$z_h z_v$	$z_h^2$	$z_v^2$	$h(m)$	$v$ (м/с)	$f(x)$	$\varphi(x)$
1	+	+	+	+	+	0,10	40	16,0	15,37
2	-	+	-	+	+	0,04	40	7,0	7,08
3	+	-	-	+	+	0,10	20	30,5	30,67
4	-	-	+	+	+	0,04	20	13,0	13,87
5	1,414	0	0	2	0	0,112	30	23,2	23,6
6	-1,414	0	0	2	0	0,0276	30	6,5	5,88
7	0	1,414	0	0	2	0,07	44,14	10,5	10,9
8	0	-1,414	0	0	2	0,07	15,86	27,2	26,6
9	0	0	0	0	0	0,07	30,0	15,0	15,0
10	0	0	0	0	0	0,07	30,0	15,0	15,0
11	0	0	0	0	0	0,07	30,0	15,0	15,0
12	0	0	0	0	0	0,07	30,0	15,0	15,0
13	0	0	0	0	0	0,07	30,0	15,0	15,0

После обработки результатов эксперимента находим полином вида

$$\varphi(z) = 15,0 + 6,273z_h - 5,523z_v - 2,125z_h z_v - 0,125z_h^2 + 1,875z_v^2. \quad (15)$$

В полиноме (15) все переменные при водятся в кодированных значениях. Переход в фактические физические величины осуществляется с использованием зависимостей

$$z_i = \frac{x_i - x_0}{\Delta x_i}, \quad i = 1, 2.$$

После подстановки значений (16) в полином (15) будем иметь

$$\varphi(x) = 18,3 + 440h - 1,18v - 7,08hv - 139h^2 + 0,0188v^2. \quad (16)$$

Расчеты выполненные по формуле (17) приведены в таблице 2 (последняя колонка). При этом критерий точности метода равен  $\rho = 1,67$ .

### ВЫВОДЫ

1. Перечисленные в начале статьи достоинства висячих мостов могут быть перечеркнуты, если игнорировать их динамическую реакцию на аэродинамическую нагрузку. Проверка будущего полотна на динамическую устойчивость должна быть обязательной, как при аналитических расчетах, так и с использованием физических экспериментов.

2. В статье разработана аналитическая модель колебания пластины, которая вполне может являться моделью реального полотна висячего моста. Колебательный процесс пластины опирается на методику колебания балок с равномерно распределенной массой и приведёнными их характеристиками.

3. С помощью разработанного математического аппарата изгибно-крутильных колебаний пластины определены критические отношения длины пластины к ее ширине в зависимости от скорости набегающего потока воздуха и толщины самой пластины.

4. Полученный вычислительный материал был использован:

– для нахождения простых аналитических зависимостей  $L_x/L_y = f(v)$  при фиксированном значении толщины пластины с применением метода наименьших квадратов разностей;

– определение обобщенной зависимости  $L_x/L_y = f(v, h)$  от двух параметров с помощью теории планирования экспериментов в ограниченной области факторного пространства.

5. В дальнейшем полученный теоретический анализ динамической устойчивости пластины должен быть подтвержден:

проведением экспериментальных исследований на основе теории физического моделирования;

разработкой теоретической модели колебания пластины с применением методов теории упругости и ее сравнительным анализом с предыдущими этапами исследований.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) Чемодуров В.Т., Литвинова Э.В., Сеitzhelitov M.S. Численные методы: монография. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2017. – 196с.
- 2) Чемодуров В.Т., Жигна В.В. Методы теории планирования эксперимента в решении технических задач: монография. – Симферополь, 2012. -112с
- 3) Безухов Н.И., Лужин О.В., Колкунов Н.В. Устойчивость и динамика сооружений в примерах и задачах: Уч. пособие для строит. спец. вузов. – 3-е изд., перераб.- М.: Высшая школа, 1987. – 264с
- 4) Вилков С.М. Методы решения задач строительной механики корабля: уч. пособие. – Санкт-Петербург: Типография ВМА, 2000.- 244с.
- 5) Погорелов В.И. Строительная механика тонкостенных конструкций: Уч. пособие для студентов высших учебных заведений. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 528с.

### REFERENCES

- 1) Chemodurov V.T., Litvinova E.V., Seitzhelitov M.S. Numerical methods: monograph. - Simferopol: IT "ARIAL", 2017. – 196p.
- 2) Chemodurov V.T., Zhigna V.V. Methods of the theory of experiment planning in solving technical problems: monograph. - Simferopol, 2012. -112 p.
- 3) Bezukhov N.I., Luzhin O.V., Kolkunov N.V. Stability and dynamics of structures in examples and tasks: Tutorial manual for building universities. - 3rd ed., Pererab.- M. : Higher School, 1987. – 264p.
- 4) Vilkov S.M. Methods of solving the problems of ship's structural mechanics: Tutorial allowance. - Saint-Petersburg: Printing-house of the VMA, 2000.- 244p..
- 5) Pogorelov V.I. Construction mechanics of thin-walled structures: Tutorial allowance for students of higher educational institutions. - St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2007. - 528p.

## AERODYNAMICS OF VISIBLE BRIDGES

Chemodurov V.T., Kuzmenko O.A.

**SUMMARY.** Lately wide application in practice have to design motes hanging designs like the least expensive. However, the desire for relief of the structure makes to the growth of sensitive industry such bridges to the airflow in a period of strong winds. The resulting aerodynamic load-influence on the strength characteristics of the spans of such bridges. Determination of the critical correlation between the stability of hanging bridge spans to aerodynamic loads is an urgent task in the preliminary design of structures of this type. Thus, the purpose of this article is to determine the zones of dynamic stability of the hanging bridge spans, which depend on the speed of the incoming air flow. The flight model of the suspension bridge uses a flat plate. Lagrange equations of the second kind are used to determine the position of the plate at any time. The paper uses a one-dimensional approach to the structure of the zones of stability of the plate to the wind load at a constant thickness. The criterion of the problem is the critical ratio of the span length to its width. The method of finding the functional connection of the critical parameters of the canvas from two variables: the thickness of the canvas and the speed of the air flow. This method relies on the rules of the rotatable design of experiments.

**Key words:** suspension bridges, aerodynamics, stability, torsional vibrations, bending vibrations, Roto-table planning.

УДК 621. 926. 4

## МОЛОТКОВАЯ ДРОБИЛКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЫПУЧИХ СТРОЙМАТЕРИАЛОВ И ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЕ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

Корохов В.Г. Бурова И.В.

ФГАОУ ВО «Крымский Федеральный университет имени В.И. Вернадского»,

Академия строительства и архитектуры.

Адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181.

vladen.korokhov@mail.ru

**Аннотация.** Приводится анализ влияния и рекомендуемые конструктивные характеристики рабочих органов дробилки, обеспечивающие оптимальную производительность двухфункционального процесса машины, состоящего из технологических операций дробления и отделения измельченного материала с одновременным его фракционированием.

**Ключевые слова.** Дробилка, измельчение, стройматериалы, конструирование, механизмы, классификатор, сепаратор, обечайка, молотки, контрнож, вентиляционный эффект, центробежные силы, перфорация, производительность, энергопотребление.

### ВВЕДЕНИЕ

Ниже рассматриваемая дробилка молоткового типа с центральной загрузкой сырья предназначается для получения сыпучих строительных материалов из хрупкого минерального и органического сырья путем измельчения в ней ударами молотков крупных (до 80 мм) фракций глины, известняка, гипса, шлака, керамики, угля, а также хрупкого пластика, обрезков древесины, картона и других отходов подобных материалов, для их использования в строительстве. Кроме этого, дробилка может быть применена для грубого измельчения зерновые культур, таких как пшеница, ячмень, кукуруза зерновая и в початках. Основные эксплуатационные требования к рекомендуемой для изготовления дробилке, состоят в получении гранул нужного размерного состава, в малом энергопотреблении, в обеспечении необходимой производительности переработки сырья при небольшой металлоемкости машины, высокой ее надежности и малой трудоемкости обслуживания.

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Настоящая работа представляет собой конструктивно обоснованные рекомендации о целесообразности изготовления дробилки молоткового типа производительностью 5...10

т/час для получения сыпучих строительных материалов.

Задачи настоящей работы состоят в решение вопроса о влиянии геометрических характеристик рабочих органов и режимных параметров на получаемую гранулометрию сырья, на энергопотребление и на производительность дробилки, выполняющей одновременно две технологические операции:

1. Измельчение поступающего в дробилку сырья, состоящего из фракций известных (рекомендуется не более 80 мм) размеров, до получения в ней меньших частиц заданного размера. Измельчение осуществляется свободными ударами шарнирно закрепленных на роторе молотков пластинчатой геометрической формы.

2. Фракционирование получаемого дроблением материала: отделение гранул требуемого размера путем грохочения через вращающуюся перфорированную обечайку, и одновременно с этим – отделение сепарированием мелких частиц, витающих в образующемся воздушном потоке.

Рассматривается также функциональное влияние кинематики и конструктивного построения рабочих органов машины в плоскостной и пространственной геометрии таким образом, чтобы осуществлялась возможность проявления известных физических закономерностей, способствующих наиболее эффективному выполнению

перечисленных технологических операций с минимальным энергопотреблением.

Ранее нами были созданы высокоэффективные дробилки подобной конструкции для семечковых плодов, принятые к серийному производству и выпущенные в двух модификациях - производительностью 10 т/час и 20 т/час марок ВДМ-10 и ВДМ-20, используемые в различных хозяйствах Крыма [1]. Конструкция дробилок защищена авторскими свидетельствами на изобретения № 691189, № 1607939 [2], [3]. В этих конструкциях нами отработаны технологические особенности измельчения и фракционирования сырья. Машины компактные и легкие. Дробилка ВДМ-10 имеет ротор диаметром 680 мм при его длине 150 мм, она весит в сварном исполнении 390 кг, в литом (при серийном выпуске) 525 кг, в обоих вариантах – с учетом электродвигателя весом 250 кг. На рисунке 1 приведен образец дробилки в литом исполнении.

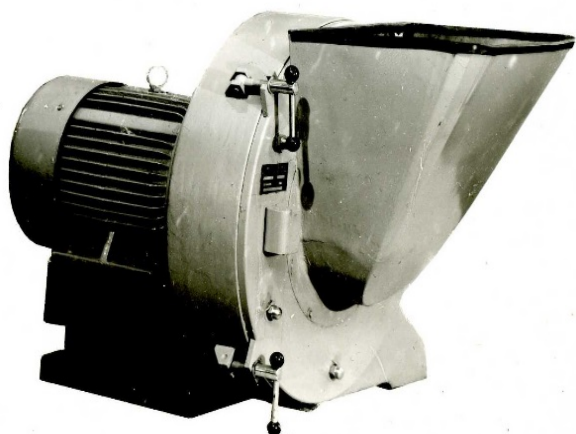


Рис.1 Дробилка в литом исполнении

Исходя из позиции авторского подхода, считаем, что дробилка ВДМ-10 является надежным базовым аналогом для рекомендуемой к изготовлению дробилки, как по конструкции, так и по особенностям ее кинематики [4]. Опыт испытаний и доведения технико-эксплуатационных показателей дробилки ВДМ-10 - до требуемых, показал, что, поскольку рекомендуемая к изготовлению дробилка предназначена для переработки разнородного вышеуказанного сырья с существенно отличающимися физико-механическими свойствами, то это потребует экспериментальной доводки определяющих элементов рабочих органов и режимных характеристик новой машины для получения сыпучих строительных материалов однородного размерного состава [5].

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Методика исследования дробилок при переработке органического сырья состояла в определении эффективности измельчения и отделения гранул нужного размера, в измерении производительности машины при использовании рабочих органов различной геометрии и при различной частоте вращения ротора, а также, в определении способов минимизации энергопотребления. В период испытаний экспериментального образца дробилки нами проверена возможность измельчения гипса, известняка и обрезков древесины, размерами не более 80 мм, и получены положительные результаты.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В базовой дробилке ВДМ-10 конструкцией ее рабочих органов, их компоновкой, кинематикой и взаимодействием с сырьем созданы условия, при которых основные физические закономерности максимально способствуют осуществлению требуемых технологических операций. В рекомендуемой к изготовлению дробилке для получения сыпучих строительных материалов, наряду с принятой и, ранее апробированной принципиальной схемой конструкции и ее кинематикой, используется принцип конвертирования [4], согласно которому назначаются размеры и геометрические соотношения рабочих органов, в зависимости от размеров наибольших фракций исходного сырья с иными физико-механическими свойствами.

Сходные признаки конструктивного построения дробилок ВДМ-10 и рекомендуемой к изготовлению дробилки для строительных материалов состоят в следующем: компактность машин, совмещение конструктивных функций рабочих органов в выполнении трех технологических операций, и единая их кинематика, максимальное использование инерционных физических закономерностей для эффективного выполнения технологического процесса, для минимизации рабочих нагрузок на ответственные детали и для высокой удельной производительности, при небольшом энергопотреблении.

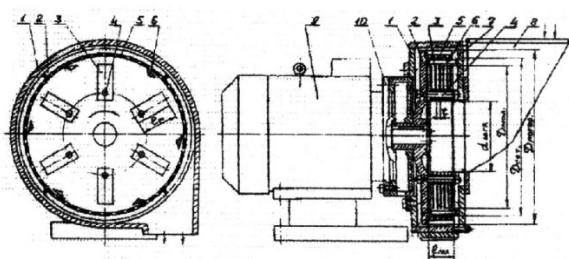


Рис.2 Молотковая дробилка

На рис. 2 показан продольный и поперечный разрез дробилки. В корпусе 1 расположен ротор 2 с шарнирно закрепленными пластинчатыми молотками 3 на осях 4. К ротору прикреплен классификатор 5 в виде цилиндрической обечайки с отверстиями. Между этим классификатором 5 и молотками 3 расположены неподвижные конрножи 6 (рис.3), которые прикреплены к крышке 7 корпуса 1. К этой крышке прикреплен и загрузочный бункер 8. Ротор 2 измельчителя закреплен своей ступицей на валу электродвигателя 9, исполнения ЦД/Ф2, мощностью 10 квт, со скоростью вращения 725 об/мин, и приводится им во вращение [7]. К фланцу этого электродвигателя 9, стоящего на лапах, через защитную разделительную камеру 10 прикреплен корпус 1 дробилки.

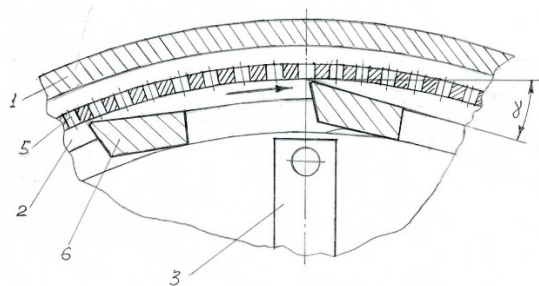


Рис.3 Расположение конрножей в роторе

Подлежащее измельчению сырье поступает в загрузочный бункер 8, из которого - в центральную часть вращающегося ротора 2. Центробежными силами сырье разбрасывается в стороны и разбивается ударами молотков 3 на мелкие фракции. Те частицы, размер которых менее диаметра перфорационных отверстий вращающегося классификатора 5, пролетают через эти отверстия и попадают на внутреннюю поверхность корпуса 1, откуда выбрасываются через выгрузной патрубок этого корпуса. Образующимся вентиляционным воздушным потоком удаляются через отверстия классификатора мелкие частицы сырья, витающие от отверстий [9]. Это выгодно отличает его от неподвижного классификатора - желоба (в

в этом потоке [8]. Недоизмельченные фракции сырья снимаются с вращающегося классификатора 5 неподвижными конрножами 6 и поток этих частиц попадает под удары молотков 3 для доизмельчения вместе с вновь поступающим сырьем.

Анализ отличительных и функциональных особенностей дробилки принципиально новой конструктивной схемы, согласно авторским свидетельствам на изобретения [2], [3], и обоснование конструктивных характеристик ее рабочих органов.

Поскольку в одном компактном агрегате выполняются, указанные выше, две технологические операции – измельчение и классификация фракций, а также вспомогательная операция по удалению конрножами недоизмельченных фракций с внутренней поверхности классификатора, и ориентация их в зону вращения молотков на доизмельчение, то целесообразно рассмотреть зависимость функциональных показателей рабочих органов, осуществляющих каждую из этих операций.

1. Компактность конструкции дробилки достигается тем, что она смонтирована на фланце электродвигателя исполнения ЦД/Ф2 таким образом, что корпус примыкает и крепится к фланцу электродвигателя, стоящего на лапах. Это исключает необходимость использования специальной станины, сокращает размеры и вес машины.

2. Ступица ротора дробилки размещена непосредственно на валу электродвигателя. Это исключает необходимость использования механической передачи для привода ротора с валом и подшипниковыми узлами, поскольку их функцию выполняет вал электродвигателя со «своими» подшипниковыми опорами.

3. Классификатор фракций, получаемого раздробленного материала, размещен в корпусе дробилки. По конструкции он представляет собой грохот в виде вращающейся цилиндрической обечайки с большим количеством перфорационных

известных молотковых дробилках [6]) использованием центробежных сил инерции и

значительно большей площадью живого сечения перфорационных отверстий, что в существенной мере, определяет функциональную эффективность дробилки.

4. Вращение цилиндрического классификатора, внутри которого измельчается сырье, позволяет использовать центробежные силы инерции, действующие на частицы сырья, для быстрого и интенсивного их удаления из классификатора без смешивания с недоизмельченным сырьем [10]. Это сокращает продолжительность всего технологического процесса, увеличивает производительность дробилки при небольших ее размерах и снижает до минимума удельное энергопотребление на переработку сырья. Классификатор должен соответствовать таким основным требованиям к его геометрическим характеристикам:

4.1 Обечайка — это сварной цилиндр из листовой стали толщиной не менее 3 мм с отверстиями, расположенными в шахматном порядке.

4.2 Диаметр перфорационных отверстий классификатора, в зависимости от требуемого гранулометрического состава готового продукта, должен быть с превышением на 10...20% требуемого размера получаемых мелких фракций сырья и может быть принят от 3 мм до 10 мм или более, что может оказаться и продиктованным скоростным режимом измельчения и вращения классификатора. Во избежание закупорки отверстий, диаметр их должен быть не меньше толщины стенки классификатора. Ширина перемычек между отверстиями должна быть не менее 5 мм. Второй вариант исполнения классификатора – с возможностью регулирования проходного размера отверстий (в зависимости от разнообразия видов сырья и размера получаемых частиц) – это двухслойная конструкция, состоящая из внутреннего и наружного цилиндров с одинаковыми соосно расположенными отверстиями и возможностью смещения одного из цилиндров относительно другого с целью уменьшения проходного просвета частично перекрываемых отверстий.

4.3 Относительная площадь живого сечения  $\gamma$  перфорационных отверстий классификатора должна быть не менее 25%. Она определяется из зависимости:

$$\gamma = \frac{\sum F_{отв}}{F_{кл}} \cdot 100\% .$$

где  $\sum F_{отв}$  – суммарная площадь отверстий классификатора,  $F_{кл}$  – общая площадь классификатора, определяемая длиной его окружности и длиной цилиндра этой обечайки [11].

4.4 Внутренний диаметр классификатора  $D_{вл}$  должен быть больше описанной окружности вращения молотков  $D_{мол}$  на 30...40 мм для размещения в этой зоне неподвижных контрожей, чтобы они не соприкасались с вращающимися молотками и внутренней поверхностью перфорированной обечайки классификатора (рис. 3).

4.5 Минимальная длина образующей цилиндра перфорированной обечайки классификатора  $L_{кл}$  должна превосходить в 1,5...1,7 раза размер крупных фракций сырья. Вращающийся цилиндрический классификатор должен своей длиной полностью перекрывать зону вращения молотков.

5. Вращением ротора дробилки с центральным загрузочным отверстием создается вентиляционный эффект, при котором воздух интенсивно поступает через центральную полость внутрь измельчителя, создавая давление 40...50 кгс/м<sup>2</sup>, и с большой скоростью выходит через отверстия классификатора, захватывая с собой мелкие частицы сырья, попадающие в воздушный поток [8]. Это ускоряет удаление измельченных частиц сырья. Таким образом, быстро освобождается рабочее пространство со стороны внутренней поверхности классификатора для беспрепятственного продолжения взаимосвязанных операций измельчения и удаления раздробленного сырья. Это повышает производительность машины. Частицы раздробленного сырья различной гранулометрии удаляются через выгрузной патрубок дробилки с различными скоростями. Крупные фракции оптимального размера вылетают из патрубка с минимальной скоростью и попадают в рядом поставленный для них контейнер. Мелкие – порошкообразные частицы вылетают в воздушном потоке с наибольшей скоростью и летят дальше от патрубка, попадая в удаленно расположенный контейнер. Для отдельного сбора измельченного материала требуемой гранулометрии целесообразно использовать два или три последовательно установленных контейнера – для крупного (оптимального), среднего и мелкого сырья. А оснащение выгрузного патрубка дробилки, направляющей насадкой с изменяющимся расположением выходного окна из нее, позволит ориентировать выгружаемый поток сырья в нужном направлении

для заполнения каждого контейнера сырьем требуемого гранулометрического состава.

6. Об особенностях измельчающих рабочих органов дробилки, к которым относятся молотки и контрножи.

6.1 Испытанные молотки имеют геометрическую форму в виде пластин и они шарнирно соединены с осями. Длина рабочей части молотка, т. е. участок его длины за пределами оси должен быть в 1,2 раза больше самой крупной фракции измельчаемого сырья, т. е.

$$l_{\text{раб.}} \geq 1,2 \cdot \delta_{\text{макс.}}$$

Ширина молотка – 35...40 мм, предпочтительная толщина – 7...8 мм, материал – низколегированная сталь, твердостью после закалки с низкотемпературным отпуском 57...62 HRC, рабочая поверхность молотка может быть выполнена плоской или зубчатой. Может быть рекомендована наплавка износостойкого слоя на рабочие поверхности молотков [12]. Для эффективного измельчения нехрупких материалов целесообразно заострение его рабочей грани под углом 30...35°. Для обеспечения длительного срока службы молотков, рационально выполнить обе продольные грани рабочими; так же целесообразно наличие отверстий на обоих концах молотков для продления их срока службы, путем четырехкратной перестановки на оси.

6.2 Длина оси  $l_{\text{оси}}$ , с размещенными на ней молотками, тоже должна превосходить на 20% наибольший размер исходной фракции сырья:

$$l_{\text{оси}} \geq 1,2 \cdot \delta_{\text{макс.}}$$

6.3 Шаг  $t_{\text{пол}}$  размещения молотков на оси с соответствующими просветами между ними, является существенным технологическим показателем в определении необходимого числа  $z$  молотков на оси. Это **уточняется экспериментально** в зависимости от вида измельчаемого сырья и требуемой гранулометрии готового продукта. Для эффективного измельчения сырья, молотки на соседних осях должны располагаться в шахматном порядке, т. е. – просветы между молотками на оси «А» должны перекрываться молотками на оси «В», и. т. д.

6.4 Количество осей  $s$ , на которых шарнирно закреплены молотки, может быть от трех до шести, что **уточняется экспериментально**. Расстояние между соседними осями (просвет) с молотками должно быть на 20...30% больше крупных фракций

сырья – во избежание заклинивания фракций в этом просвете.

6.5 Диаметр окружности, на которой закрепляются оси молотков на роторе, должен быть больше требуемого диаметра загрузочного отверстия из бункера в дробилку, чтобы сырье, поступающее из бункера внутрь дробилки, не соприкасалось с осями молотков на переходном участке. Во избежание заклинивания сырья в этом переходном участке необходимо, чтобы диаметр загрузочного отверстия из бункера в дробилку превосходил в 2,5...3,5 раза размер крупных фракций сырья.

6.6 Поскольку оси молотков расположены на вращающемся роторе по окружности и закреплены консольно, то на каждую ось с молотками действует изгибающий момент сил инерции, которые направлены радиально от центра. Для уменьшения напряжений изгиба в местах закрепления осей, противоположные – свободные концы всех осей соединены общим кольцом, которое уравнивает воздействие всех разнонаправленных инерционных сил, действующих на каждую ось. Таким образом, оси, по характеру воздействующих на них нагрузок, из консолей «превращаются» в двухопорные балки. В результате этого, напряжения изгиба, испытываемые осями, уменьшаются в два раза. Это увеличивает запас прочности и ресурс работы измельчающего механизма.

7. Чтобы недоизмельченные фракции сырья, не прошедшие через отверстия классификатора, не вращались вместе с ним, используются неподвижные контрножи (рис. 3) фасонного поперечного сечения, которые, подобно скребкам, снимают эти фракции с внутренней поверхности классификатора и потоком направляют их на измельчение в зону вращения молотков.

7.1 Контрножи для удаления с внутренней поверхности классификатора недоизмельченных частиц, должны быть размещены так, чтобы зазор между их поверхностью и внутренней поверхностью классификатора – расширился. Это исключает сопротивление вращению классификатора и сокращает энергозатраты на технологическую операцию. Контрножи изготовлены из низколегированной стали, твердостью после закалки и низкотемпературного отпуска – 57...62 HRC, имеют фасонное поперечное сечение с заострением. Может быть рекомендована наплавка износостойкого слоя на рабочие поверхности

контрножей [12]. Вершина заострения рабочей кромки контрножа должна быть скруглена радиусом 0,5...1 мм и располагаться относительно классификатора на расстоянии 1,5...2 мм. Для обеспечения требуемой прочности контрножей, испытывающих неравномерные удары разных фракций сырья, оба концевых участка ножей соединены двумя кольцами, одним из которых эта пространственная конструкция прикреплена к крышке дробилки.

Требуемая производительность и степень измельчения определенных разновидностей сырья, различающихся плотностью и размерами фракций, достигается путем опытной вариации длины молотков, шагом их расположения на оси, числом осей с молотками, количеством контрножей и частотой вращения ротора, а также площадью живого сечения перфорационных отверстий классификатора и их диаметром.

Из анализа размерных элементов конструкции рабочих органов дробилки, обеспечивающих качественное выполнение всех технологических операций и требуемую производительность следует, что исходным определяющим показателем являются размеры наибольших гранул (кусков) перерабатываемого сырья и его физико-механические свойства. Равномерная работа дробилки возможна только при равномерной подаче сырья транспортером в бункер дробилки, из которого оно попадает в рабочее пространство ротора измельчающего механизма. Объем загружаемых кусков сырья не должен переполнять ротор, так как это может привести к прекращению измельчения или разрушению деталей. Поэтому, производительность дробилки должна рассчитываться, исходя из объема возможной переработки сырья в единицу времени, что именуется объемной производительностью [11]. Используемая в технической документации весовая производительность, в данном случае, определится перерасчетом, исходя из известной удельной плотности того или иного перерабатываемого сырья. Ниже приводятся значения удельной плотности некоторых материалов, подлежащих переработке: известняк, гипс (воздушно-сухой) – 2...2,2 г/см<sup>3</sup>; керамика, фарфор – 2,2...2,4 г/см<sup>3</sup>; каменный уголь – 1,2...1,5 г/см<sup>3</sup>; хрупкие пластики – 1,2...1,4 г/см<sup>3</sup>; сосна, ель – 0,4...0,5 г/см<sup>3</sup>; дуб, бук – 0,7...0,9 г/см<sup>3</sup>; плоды: яблоки, груши 0,7...0,8 г/см<sup>3</sup>; морковь 0,9...1,1 г/см<sup>3</sup> [13].

Приведенные выше размерные соотношения, рекомендуемые для определения основных

элементов конструкции рабочих органов дробилки, базируются на результатах экспериментальных и эксплуатационных испытаний дробилок при переработке органических и неорганических материалов размерами фракций до 80 мм при скорости вращения ротора дробилки 725 об/мин и получаемыми измельчением гранулами 4...5 мм [7], [11]. При этом, производительность переработки поддерживалась около 10 т/час, с возможностью ее увеличения. Энергопотребление не превышало 10 квт, что указывает на минимальные удельные энергозатраты.

## ВЫВОДЫ

Совокупностью конструктивных решений в рассматриваемой молотковой дробилке с применением в ней последовательно расположенных разнооперационных рабочих органов в единой их кинематике, и при нестандартном компоновочном решении всей конструкции машины, с механизмами, размещенными на фланце и валу электродвигателя, осуществлена возможность технически рационально использовать проявление известных физических закономерностей в выполнении ряда технологических операций, благодаря чему эта малогабаритная и легкая машина, по своей производственной отдаче, превращена в двухфункциональный энергоэкономичный агрегат.

Рекомендуемые нами для создаваемой конструкции дробилки размерные характеристики и геометрические соотношения рабочих органов измельчающего механизма, вращающегося классификатора-грохота и воздушно-вентиляционная сепарация получаемых сыпучих материалов, содержат в себе широкую перспективу вариации требуемого увеличения или уменьшения производительности всех трех функций единого технологического процесса, т. е. – дробления сырья различной удельной плотности с разными физико-механическими свойствами, размерную классификацию требуемых гранул и сепарацию мелких фракций в образуемом воздушном потоке, все это – с минимальным энергопотреблением.

Используя аналитические и экспериментальные материалы, можно утверждать, что технико-эксплуатационные показатели дробилки, и, прежде всего, производительность ( $Q$ ), представляют собой сложную функциональную зависимость от геометрических характеристик измельчающего механизма, классифицирующего и сепарирующего устройств, т. е. от рабочей длины молотков ( $l_{\text{мол}}$ ), количества

молотков ( $z$ ) и шага ( $t$ ) расположения их на оси, от количества осей ( $s$ ) с молотками, а также – от диаметра перфорационных отверстий классификатора ( $d$ ), относительной площади их живого сечения ( $\gamma$ ) и диаметра классификатора ( $D_{кл}$ ), его длины ( $l_{кл}$ ), количества контрножей ( $k$ ), удельной плотности перерабатываемого сырья ( $\rho$ ) и скорости вращения ротора ( $n$ ), т.е. справедлива зависимость:

$$Q = f(l_{кл}, z, t, s, d, \gamma, D_{кл}, l_{кл}, k, \rho, n)$$

Рассмотренная компактная конструкция дробилки экономически эффективна для производительности 5...10 т/час по исходному сырью.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корохов, В.Г. Лавринев, П.Г. Оборудование для переработки сельскохозяйственного сырья / В.Г. Корохов, П.Г. Лавринев. – Симферополь: НАПКС, 2006. – 139 с.
2. Молотковая дробилка: Авторское Свидетельство 691189 СССР: М. Кл. В 02 С 13/02/ Корохов В.Г.; заявитель и патентообладатель Симферопольский филиал Севастопольского приборостроительного института. - №2511738/29-33; заявл. 01.08.77; опубл. 15.10.79, Бюл. №38. – 3 с: ил.
3. Молотковая дробилка: Авторское Свидетельство 1607939 СССР: М. Кл. В 02 С 13/02/ Корохов В.Г.; заявитель и патентообладатель Симферопольский филиал Днепропетровского инженерно-строительного института. - №4625160/23-33; заявл. 14.10.88; опубл. 23.11.90, Бюл. №43. – 2 с: ил.
4. Орлов П.И. Основы конструирования / Справочно-методическое пособие в 2-х книгах. — М.: Машиностроение, 1988. — 560 с.
5. Капица П. Л. Эксперимент, теория, практика / Капица П.Л. – М.: Наука, 1974. – 288 с.
6. Молотковый измельчитель: пат. 2195368 Рос. Федерация: МПК7 В 02 С 13/284/ Корохов В.Г.; заявитель и патентообладатель Корохов Владлен Григорьевич. - № 99123303/13 (024648); заявл. 04.11.99; опубл. 27.12.02, Бюл. №36. - 4 с: ил.
7. Корохов, В.Г., Бурова, И.В. Особенности конструкций и расчет мощности энергосберегающих дробилок для минерального и органического сырья / В.Г. Корохов, И.В. Бурова // - Motrol - Commission of motorization and power industry in agricult

ure: Polish Academy of sciences. - Lublin, 2010-2011. – 86-94 p.

8. Соломакова, Т.С., Чебышева, К.В. Центробежные вентиляторы. Аэродинамические схемы и характеристики / Т.С. Соломакова, К.В. Чебышева. – М.: Машиностроение, 1980. – 176 с.
9. Софронов, В.Л. Машины и аппараты химических производств / В.Л. Софронов. – Северск: СГТА, 2008. – 269 с.
10. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин Учебник Четвертое издание переработанное и дополненное, изд. Эколит, 2011 г., 640 с.
11. Корохов, В.Г. Бурова, И.В. Лавринев, П.Г. Расчет технико-эксплуатационных показателей измельчителей и формулирующего оборудования для строительных материалов / В.Г. Корохов, И.В. Бурова, П.Г. Лавринев // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. - Симферополь: НАПКС, 2009. - Вып.28. - С.44-47.
12. Гуляев А.П. Металловедение / Гуляев А.П. – М.: Металлургия, 1986. - 544 с.
13. Н.И. Кошкин, М.Г. Ширкевич Справочник по элементарной физике. – М.: Наука, 1976. – 256 с.

### REFERENCES

1. Korokhov, V.G. Lavrinev, P.G. Oborudovaniye dlya pererabotki sel'skhoz'yaistvennogo syr'ya / V.G. Korokhov, P.G. Lavrinev. - Simferopol': NAPKS, 2006. - 139 s.
2. Molotkovayadrobilka: AvtorskoyeSvidetel'stvo 691189 SSSR: M. Kl. В 02 S 13/02 / Korokhov V.G.; zayavitel' ipatentoobladatel' Simferopol'skiy filial Sevastopol'skogopriborostroitel'nogoinstituta. - №2511738 / 29-33; zayavl. 01.08.77; opubl. 15.10.79, Byul. №38. - 3 s: il.
3. Molotkovayadrobilka: AvtorskoyeSvidetel'stvo 1607939 SSSR: M. Kl. В 02 S 13/02 / Korokhov V.G.; zayavitel' ipatentoobladatel' Simferopol'skiy filial Dnepropetrovskogoinzhenerno-stroitel'nogoinstituta. - №4625160 / 23-33; zayavl. 14.10.88; opubl. 23.11.90, Byul. №43. - 2 s: il.
4. Orlov P.I. Osnovykonstruirovaniya / Spravochno-metodicheskoyeposobiye v 2-kh knigakh. - M.: Mashinostroyeniye, 1988. - 560 s.
5. Kapitsa P. L. Eksperiment, teoriya, praktika / Kapitsa P.L. - M.: Nauka, 1974. - 288 s.
6. Molotkovyizmel'chitel': pat. 2195368Ros. Federatsiya: MПК7 В 02 S 13/284 / Korokhov V.G.; zayavitel' ipatentoobladatel' Korokhov Vladlen Grigor'yevich. - № 99123303/13 (024648); zayavl. 04.11.99; opubl. 27.12.02, Byul. №36. - 4 s: il.

7. Korokhov, V.G., Burova, I.V. Osobnost konstruktivnykh formuyushchego oborudovaniya stroitel'nykh materialov / V.G. Korokhov, I.V. Burova, P.G. Lavrinev // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. Sb. nauch. trudy. - Simferopol': NAPKS, 2009. - Vyp. 28. - S. 44-47.
8. Solomakova, T.S., Chebysheva, K.V. Tsentrobeznyye ventilyatory. Aerodinamicheskiye khemiyi karakteristiki / T.S. Solomakova, K.V. Chebysheva. - M.: Mashinostroyeniye, 1980. - 176 s.
9. Sofronov, V.L. Mashiny i apparaty khimicheskikh proizvodstv / V.L. Sofronov. - Seversk: SGTA, 2008. - 269 s.
10. Artobolevskiy, I.I. Teoriya mekhanizmov mashin. Uchebnyy kurs. Chetvertoye izdaniye pererabotannoye idopolnennoye, izd. Ekolit, 2011 g., 640 s.
11. Korokhov, V.G., Burova, I.V., Lavrinev, P.G. Raschet tekhnikoekspluatatsionnykh pokazateley izmel'chiteley formuyushchego oborudovaniya stroitel'nykh materialov / V.G. Korokhov, I.V. Burova, P.G. Lavrinev // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. Sb. nauch. trudy. - Simferopol': NAPKS, 2009. - Vyp. 28. - S. 44-47.
12. Gulyayev, A.P. Metallovedeniye / A.P. Gulyayev - M.: Metallurgiya, 1986. - 544 s. 13. Koshkin, N.I., Shirkevich, M.G. Spravochnik po elementarnoy fizike / N.I. Koshkin, M.G. Shirkevich. - M.: Nauka, 1976. - 256 s.

## HAMMER MILL FOR RECEIVING THE GRANULAR MATERIALS AND THE JUSTIFICATION OF THE DESIGN CHARACTERISTICS OF ITS WORKING BODIES

Korokhov V.G., Burova I.V.

**SUMMARY.** An analysis over of influence and recommendable structural descriptions of working organs are brought crushers providing the optimal productivity of twofunctional process of machine, consisting of technological operations crushing and separation of the ground up material with his simultaneous fractionating.

**Keywords.** Crusher, growing, building materials, constructing, mechanisms, classifier, separator, purfling, hammers, counterblade, vent effect, centrifugal forces, perforation, productivity, energy consumption shallow.

УДК 628.2

## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД НА КАНАЛИЗАЦИОННЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ КАК СПОСОБ СНИЖЕНИЯ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Д.В. Скибо<sup>1</sup>, М.Ю. Толстой<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Муниципальное унитарное предприятие «Водоканал» г. Иркутска,  
664081, г. Иркутск, ул. Станиславского, 2, Россия

<sup>2</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия

[d.skibo2013@vandex](mailto:d.skibo2013@vandex)<sup>1</sup>, [tolstoi@istu.edu](mailto:tolstoi@istu.edu)<sup>2</sup>

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены вопросы эксплуатации канализационных насосных станций. Проанализирована работа технологического оборудования, применяемого в процессе грубой очистки сточных вод. Представлено «Устройство для осуществления грубой очистки сточных вод от грубодисперсных примесей на канализационных насосных станциях», а также предложена методика расчета транспортной емкости фильтрационного элемента.

**Ключевые слова:** водоотведение, канализационная насосная станция, трубопроводы, грубая очистка сточных вод, эксплуатация.

### ВВЕДЕНИЕ

Экологическая обстановка районов жилой застройки во многом зависит от эксплуатационных факторов и технического состояния объектов водоотведения. Сточные воды от абонентов отводятся на очистные сооружения по самотечным трубопроводам, на участках, где рельеф местности не позволяет поддерживать самотечный режим, а также в случае необходимости отведения стоков в самотечный коллектор, расположенный на более высоких горизонтальных отметках, устраивают канализационные насосные станции (КНС). Тип станции определяется в зависимости от суточного расхода, глубины подводящего коллектора и гидрологических условий. В общей схеме водоотведения КНС подразделяются на главные – осуществляющие подачу сточных вод на очистные сооружения от населенного пункта или производственного предприятия, и районные – перекачивающие стоки от какой либо части территории. Станция должна обеспечивать необходимый напор и расчетный объем подачи сточных вод, предусмотренный графиком водоотведения в нормальном режиме, а также с учетом аварийных условий. Эффективность и экономичность КНС в значительной степени зависит от принятых решений на стадии проектирования и строительства при этом немало

важным являются условия эксплуатации. Бесперебойность работы основных насосных агрегатов и вспомогательного оборудования является главным условием, предъявляемым к надежности станции.

### АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

Структура исследования процесса грубой очистки сточных вод на канализационных насосных станциях основана на проведенном анализе учебных изданий, пособий, нормативной и правовой документации, а также научных публикаций. Наиболее широко представлены знания и раскрыта специфика вопроса в научных трудах, авторами которых являются Турк В.И., Минаев А.В., Карелин В.Я. [1], Киселев П.Г., Альтшуль А.Д., Данильченко Н.В., Каспарсон А.А., Кривченко Г.И., Пашков Н.Н., Слиссский С.М. [2], Воронов Ю.В., Яковлев С.В. [3], Чугаев Р.Р. [4], Н.И. Лихачев, И.И. Ларин, С.А. Хаскин и др [5].

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Несмотря на разработанные технологии и методы грубой очистки сточных вод, внезапный отказ в работе насосов КНС в большинстве случаев связан с воздействием механических примесей на рабочий орган [1, 3, 7]. В насосном агрегате

центробежного типа применяемого для перекачивания стоков, наиболее ответственным и в тоже время уязвимым является рабочее колесо. Поступающие в насосную станцию сточные воды могут содержать различные примеси, способные вывести из строя насос или повлиять на его производительность. Поэтому возникает необходимость в очистки сточных вод до поступления их в корпус рабочих насосов. Для перекачивания стоков от небольших населенных пунктов, как правило, возводят модульные КНС, не предусматривающих постоянного присутствия обслуживающего персонала. Согласно [1, 3, 6, 7, 9] подобные сооружения на канализационных линиях оснащаются специальными устройствами в виде решеток, процеживателей и сеток. Принцип работы данных устройств заключается в способности пропускать через собственный фильтрационный элемент расчетный объем сточных вод с механическими включениями определенного размера, а более крупные отбросы задерживаются на его поверхности для последующей утилизации или переработки. Профилактические мероприятия и плановые осмотры согласно [3] осуществляются по утвержденным графикам, тем не менее, на практике имеют место быть случаи аварийной остановки насосов из-за повреждения рабочих колес или сужение их межлопастных каналов уплотненными отбросами. В результате чего снижается экономическая эффективность эксплуатации канализационной сети и возникает угроза негативного воздействия на окружающую среду.

Существенными недостатками процеживающих устройств в КНС модульного типа можно назвать:

- отсутствие автоматизированного контроля заполнения фильтрационного поля отбросами;
- большая трудоемкость и стесненность условий при очищении прозоров решеток;
- резкое снижение эффективности процеживания сточных вод при заполнении фильтрационного поля.

При эксплуатации КНС с небольшим суточным расходом от районов жилой застройки неоднократно отмечалось, что переполнение процеживающих устройств может происходить непредсказуемо, ввиду того, что сточные воды по составу неоднородны и во многом зависят от инфраструктуры объектов канализования. В связи с

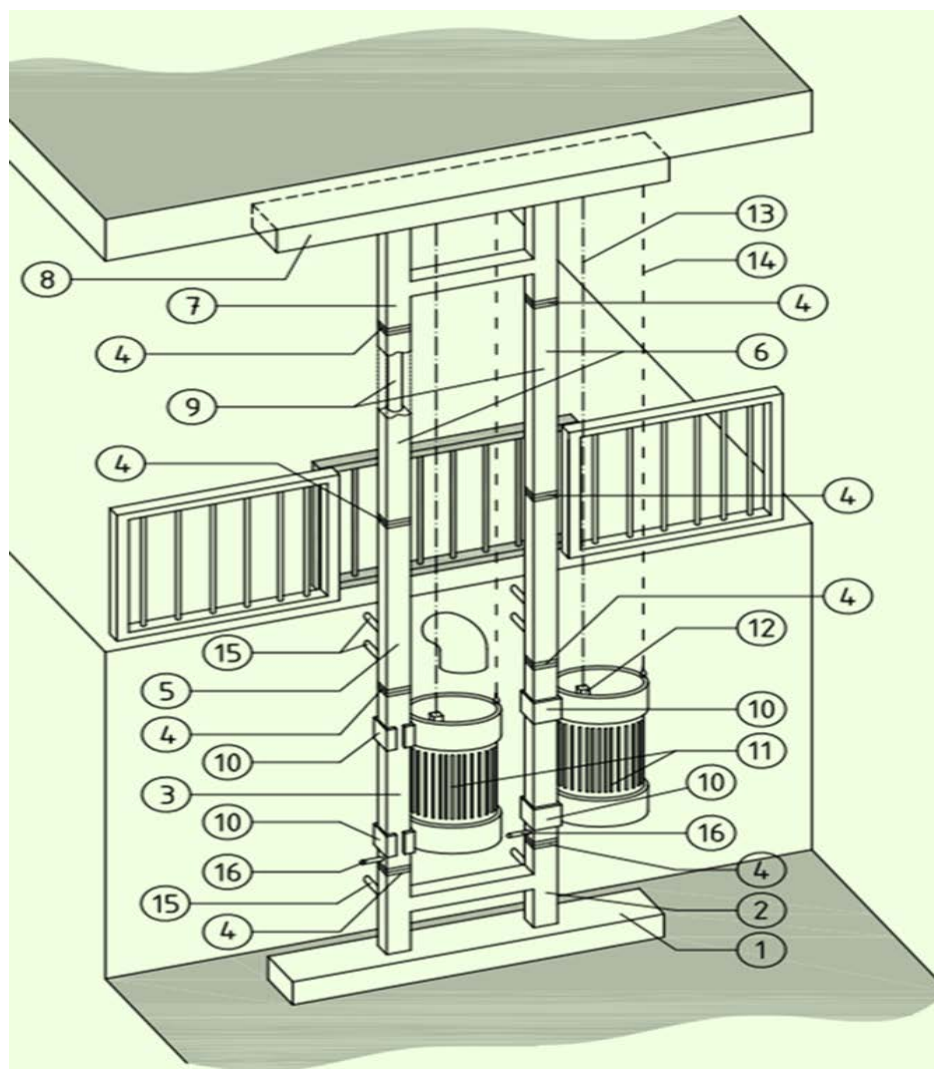
этим реагирование оперативных служб зачастую происходит после соответствующего уведомления диспетчерского пункта о переходе основных насосных агрегатов в режим «авария». Внезапная остановка насосов или снижение их производительности влекут за собой повышение уровня сточных вод в приемном резервуаре. Для защиты технологических помещений от затопления при аварийном режиме подводящий коллектор оснащается механизированной запорной арматурой с возможностью дистанционного управления. Также предусматриваются аварийные выпуски в ближайший водоем для предотвращения подпоров и разлива сточных вод из смотровых колодцев наружной канализационной сети [1, 9].

На основе вышеперечисленного можно определить перечень дополнительных функций к процеживающим устройствам, применяемых в КНС модульного типа, ориентированных на оптимизацию процесса канализования и снижению антропогенного воздействия на окружающую среду. При этом наиболее важными аспектами являются:

- автоматизация технологического процесса замены или очистки от отбросов фильтрационного поля устройства;
- способность устройства выполнять процеживание сточных вод в момент замены или очистки от отбросов фильтрационного элемента;
- контролирующая функция работы фильтрационного устройства с возможностью передачи параметрических данных на расстояние;
- минимизация ручного труда при очистке фильтрационного поля.

Учитывая нормативные требования [9], требования в области охраны окружающей среды [13], а также в целях повышения экономической эффективности работы системы водоотведения на базе кафедры инженерных коммуникаций и систем жизнеобеспечения ФГБОУ ИРНИТУ было разработано устройство для осуществления грубой очистки сточных вод от грубодисперсных примесей на канализационных насосных станциях.

Технический результат устройства рисунок 1 заключается в автоматизации фильтрационного процесса и функциональности фильтрационного контейнера (транспортная емкость + проточный фильтр).



**Рис. 1.** Устройство для осуществления грубой очистки сточных вод от грубодисперсных примесей на канализационных насосных станциях: 1 – станина; 2 - нижняя опорная рама; 3 - нижняя поворотная платформа; 4 - опорно-поворотный узел; 5 - промежуточные салазки; 6 - верхняя поворотная платформа; 7 - верхняя опорная рама; 8 - многофункциональный операционный модуль; 9 - приводная штанга; 10 – суппорт; 11 - фильтрационный контейнер; 12 - контрольный датчик; 13 - коммуникационный кабель; 14 - грузовой трос; 15 - металлический кронштейн; 16 - ходовой ограничитель.

**Fig. 1.** The device for sewage treatment from the coarsely dispersed impurities at sewer pumping stations: 1 - base; 2 - lower support frame; 3 - lower turn platform; 4 - unit support - turnaround; 5 - intermediate sled; 6 - upper turn platform; 7 - upper support frame; 8 - multifunctional operating module; 9 - drive rod; 10 - caliper; 11 - filtration container; 12 - control sensor; 13 - communication cable; 14 - metal rope; 15 - bracket; 16 - way limiter.

Устройство работает следующим образом: сточные воды в самотечном режиме поступают в фильтрационный контейнер 11 для процеживания и отделения грубодисперсных примесей, по мере наполнения фильтрационного контейнера 11 отбросами перекрываются прозоры, необходимые для выхода сточных вод, тем самым создавая подпор сточных вод в зоне действия контрольного датчика 12, реагирующего на поступившую в его корпус воду в следствии подпора. Контрольный датчик 12 в свою очередь передаёт сигнал

посредством коммуникационного кабеля 13 на многофункциональный операционный модуль 8, который в автоматическом режиме активирует функцию встроенного поворотного механизма и посредством приводных штанг 9 осуществляет согласованный поворот на 180 градусов вокруг своих осей нижних поворотных платформ 3, с штатно размещёнными на них фильтрационными контейнерами 11, таким образом, производя замену наполненного фильтрационного контейнера на пустой под непрерывным потоком сточных вод,

обеспечивая тем самым непрерывный процесс процеживания сточных вод, так же в момент активации поворотного механизма в автоматическом режиме происходит уведомление диспетчерской службы эксплуатирующей организации о наполнении фильтрационного контейнера, которая в свою очередь производит в оперативном режиме замену наполненного фильтрационного контейнера 11 на порожний. После чего заполненный фильтрационный контейнер 11 помещается в герметичный футляр и транспортируется специализированным транспортом в зону утилизации или переработки отходов.

Эффективность применения данного устройства в технологическом процессе КНС состоит в автоматизации фильтрационного процесса и совокупности функциональных составляющих фильтрационного контейнера, а именно:

- транспортная емкость – способность конструкции удерживать в своем корпусе расчетный объем отходов как в статическом состоянии, так и в условиях транспортировки.
- проточный фильтр – способность пропускать через фильтрационный элемент расчетный объем сточных вод и задерживать отходы определенных размеров.

Условия применения данного устройства можно выразить из зависимости назначения КНС, расчетного расхода поступающих сточных вод, объема отходов с учетом часовой неравномерности рисунок 3, а также габаритными размерами и площадью процеживающего элемента (решетки) фильтрационного контейнера рисунок 2. При этом график часовой неравномерности определяется опытным путем, в данном случае рисунок 3 принята часовая неравномерность населенного пункта микрорайона «Березовый» в городе Иркутске.

Прозоры решеток для предварительного процеживания назначаются из условий производителя насосного оборудования. При этом согласно [1] если насосная станция перекачивает сточные воды непосредственно на очистные сооружения, то независимо от марки насосов принимается решетка с шириной прозоров 16 мм, а на очистных сооружениях решетки не устанавливают.

Для определение размеров приемного резервуара КНС в соответствии с [1] целесообразно

принимать во внимание расчетные показатели  $\Sigma H_{\text{вд}} H_{\text{фл}}$  и  $D_{\text{к}}$  данного устройства. Габаритные размеры и площадь процеживающего элемента (решетки) фильтрационного контейнера определяются из расчетной численности населения.

Пример расчета.

Определение параметров устройства в КНС от района жилой застройки с условной численностью жителей 5000 человек, при этом определение суточного расхода будет выглядеть как:

$$Q_{\text{max,сут}} = \frac{q_{\text{ж}} \times N_{\text{ж}}}{1000} \times K_{\text{сут,max}},$$

$$Q_{\text{max,сут}} = \frac{250 \times 5000}{1000} \times 1,2 = 1500 \text{ м}^3/\text{сут}$$

где:

$q_{\text{ж}}$  – удельное хозяйственно-питьевое водопотребление в населенных пунктах на одного жителя среднесуточное (за год) 250 л/сут, согласно [8];

$N_{\text{ж}}$  – численность населения;

$K_{\text{сут,max}}$  – коэффициент суточной неравномерности, 1,2.

При этом подача насосной станции в час максимального притока сточных вод согласно [1] будет составлять 7,5%.

$$Q_{\text{н.с.}} = \frac{1500}{100} \times 7,5 = 112,5 \text{ м}^3/\text{ч} = 31,25 \text{ л/с}$$

На основе полученных данных можно определить диаметр фильтрационного контейнера  $D_{\text{к}}$  из произведения:

$$D_{\text{к}} = D_{\text{п.к.}} \times K_{\text{к}},$$

$$D_{\text{к}} = 300 \times 1,8 = 540 \text{ мм}$$

где:

$D_{\text{п.к.}}$  – диаметр подводящего самотечного коллектора, мм;

$K_{\text{к}}$  – коэффициент, компенсирующий несоосность подводящего самотечного коллектора с фильтрационным контейнером 1,5 – 2. Принимаем 1,8.

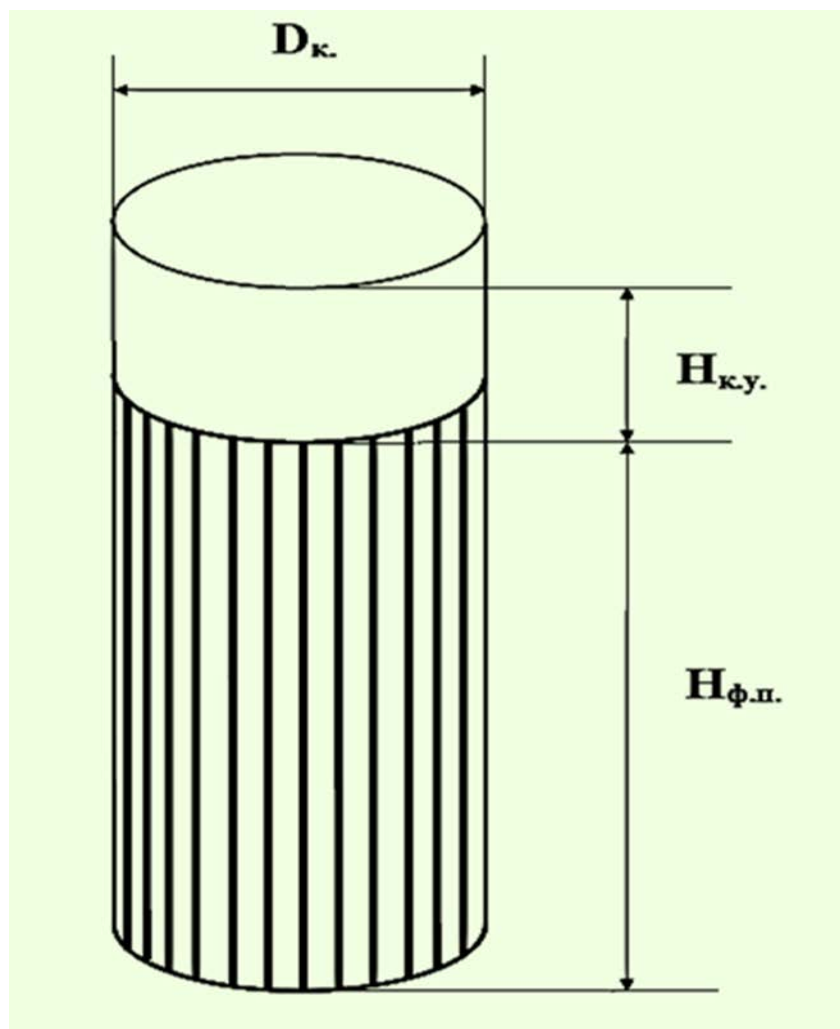


Рис. 2. Фильтрационный контейнер

Fig. 2. Filtration container

Высота фильтрационного контейнера выглядит как  $\Sigma H_{к.у.} H_{ф.п.}$

где:

$H_{к.у.}$  – уровень гидравлического подпора в рабочем диапазоне контрольного датчика, мм.

$$H_{к.у.} = D_{п.к} \times K_{ст},$$

$$H_{к.у.} = 300 \times 0,6 = 180 \text{ мм}$$

где:

$K_{ст}$  – коэффициент стабилизации уровня гидравлического подпора 0,6.

Высота процеживающего элемента фильтрационного контейнера  $H_{ф.п.}$  определяется как:

$$H_{ф.п.} = \frac{S_{ф.п.}}{\pi D_k} \text{ мм}$$

$$H_{ф.п.} = \frac{2,235}{3,14 \times 0,54} = 1318 \text{ мм}$$

где:

$S_{ф.п.}$  – площадь процеживающего элемента фильтрационного контейнера будет иметь вид:

$$S_{ф.п.} = \left( \frac{W_{кон.г}}{\pi D_k^2 / 4} + \frac{F_p}{D_k \pi} \right) \times D_k \pi,$$

$$S_{ф.п.} = \left( \frac{0,295}{3,14 \times 0,29^2 / 4} + \frac{0,051}{0,54 \times 3,14} \right) \times 0,54 \times 3,14 = 2,235 \text{ м}^2$$

где:

$F_p$  – площадь живого сечения потока,  $\text{м}^2$  согласно [1] можно выразить как:

$$F_p = Q_{макс} / v,$$

$$F_p = \frac{0,021}{0,6} = 0,051 \text{ м}^2$$

где:

$Q_{макс}$  – максимальный расход жидкости,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$v$  – скорость движения жидкости в прозорах, согласно рекомендаций [1] принимается минимальной 0,6 – 0,8 м/с. Принимаем 0,6;

$W_{\text{кон } g}$  – суточный объем отбросов задерживаемых в решетках, будет выглядеть следующим образом:

$$W_{\text{кон } g} = \frac{a_g \times N_{\text{пржс}}}{1000 \times 24 \times 60} \text{ м}^3 / \text{сут} ,$$

$$W_{\text{кон } g} = \frac{21,53 \times 5000}{1000 \times 24 \times 60} = 0,295 \text{ м}^3 / \text{сут}$$

где:

$a_g$  – количество отбросов, снимаемых с решеток на одного жителя в годовой период, согласно [9] в зависимости от ширины прозоров от 5 до 80 мм может составлять соответственно от 25 до 1,5 л на эквивалентную численность жителей в год при средней плотности отбросов 750 кг/м<sup>3</sup> таблица 1;

$N_{\text{пржс}}$  – число жителей населенного пункта.

**Таблица 1.** Сводные показатели содержания грубодисперсных примесей в сточных водах от населенного пункта

**Table 1.** Consolidated figures of the coarsely dispersed impurities content in a community sewage

Наименование показателей во временной зависимости на одного жителя	Ширина прозоров решетки, мм									
	5	10	16	20	30	40	50	60	70	80
	Количество отбросов кг, л									
Годовой объем отбросов задерживаемых в решетках, л	25	23,43	21,53	20,3	17,17	14,03	10,09	7,67	4,63	1,5
Суточный объем отбросов задерживаемых в решетках, л	0,068	0,064	0,059	0,056	0,047	0,039	0,028	0,021	0,013	0,004
Удельный вес отбросов задерживаемых в решетках, кг / сутки	0,051	0,048	0,044	0,042	0,035	0,029	0,021	0,016	0,008	0,003

Количество прозоров в решетках, необходимых для фильтрации поступающих сточных вод, согласно [6] будет определяться из вычислений:

$$n_{\text{пр}} = \frac{q_{\text{отб}} \times K_{\text{ст}}}{b_{\text{пр}} \times h_{\text{з}} \times V_{\text{р}}} - 1 ,$$

$$n_{\text{пр}} = \frac{0,031 \times 1,05}{0,016 \times 0,03 \times 1} = 66 \text{ прозоров}$$

где:

$K_{\text{ст}}$  – коэффициент, учитывающий стеснение потока граблями 1,03 - 1,05;

$b_{\text{пр}}$  – ширина прозоров 0,016 м;

$V_{\text{р}}$  – скорость перед решеткой до 1 м/сек;

$h_{\text{з}}$  – глубина воды перед решеткой будет соответствовать:

$$h_{\text{з}} = \frac{F_{\text{р}}}{a_k \times \pi} ,$$

$$h_{\text{з}} = \frac{0,051}{0,54 \times 3,14} = 0,03 \text{ м}$$

При этом толщина стержней фильтрационной решетки запишется в виде:

$$S = \frac{(D_k \times \pi) - b_{\text{ст}} \times n_{\text{пр}}}{n_{\text{пр}}} ,$$

$$S = \frac{(0,54 \times 3,14) - 0,016 \times 66}{66} = 0,01 \text{ м} ,$$

Потери напора в решетках определяются по формуле (Вейсбаха) [2]:

$$h = \xi_{\text{реш}} \frac{v^2}{2g} ,$$

$$h = 0,96 \frac{1}{2 \times 9,81} = 0,045 \text{ м}$$

где:

$v$  – средняя скорость перед решеткой;

$\xi_{\text{реш}}$  – коэффициент местного сопротивления решетки при прямом расположении по отношению к набегающему потоку, вычисляется по формуле Киршмера:

$$\xi_{\text{реш}} = \beta \left( \frac{s}{b} \right)^{4/3} \times \sin \alpha,$$

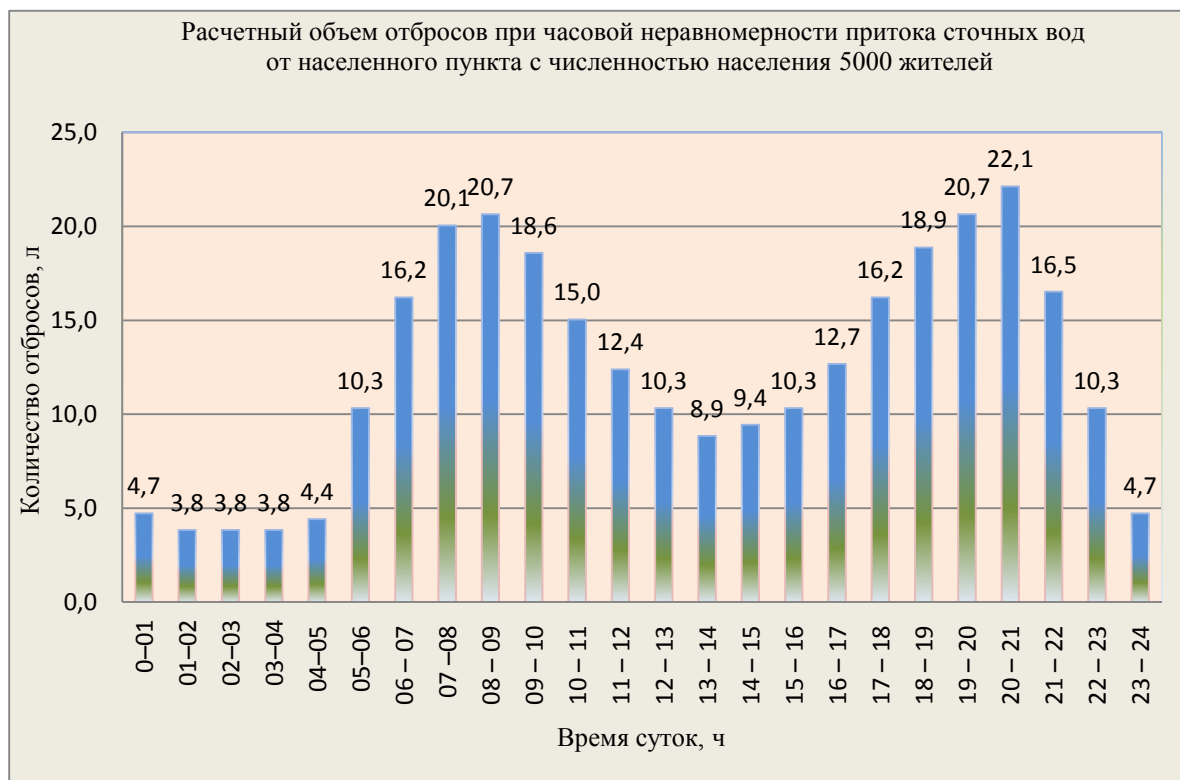
$$\xi_{\text{реш}} = 1,79 \left( \frac{0,01}{0,016} \right)^{4/3} \times 1 = 0,96,$$

где:

- $S$  – толщина стержня 0,01 м;
- $b$  – величина просвета между стержнями, 0,016 м;
- $\beta$  – коэффициент, зависящий от формы поперечного сечения стержня, 1,79;
- $\alpha$  – угол наклона решетки к горизонту, 90°.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Определять объем транспортной емкости фильтрационного контейнера и назначение режима эксплуатации устройства в составе КНС целесообразно на основе опытных данных часовой неравномерности притока сточных вод рисунок 3, а также руководствуясь нормативными требованиями согласно [9] «при накоплении отбросов свыше 2 суток необходима их пересыпка обеззараживающим реагентом в контейнере по мере накопления. Накопление отбросов свыше 5сут запрещается.



**Рис. 3.** Расчетный объем отбросов поступающий в составе сточных вод на КНС в зависимости от колебаний притока по часам суток, от микрорайона «Березовый» в городе Иркутске

**Fig. 3.** Garbage volume arriving as a part of sewage on a sewage pumping station, depending on fluctuations of inflow on hours of a day from the neighborhood "Birch" in Irkutsk

Таким образом, представлена методика расчета объема и габаритных размеров транспортной емкости, а также площади процеживающего элемента (решетки) фильтрационного контейнера для полезной модели «устройство для осуществления грубой очистки сточных вод от грубодисперсных примесей на канализационных насосных станциях», на примере населенного пункта с условной численностью 5000 жителей.

## ВЫВОДЫ

Система водоотведения является неотъемлемым элементом в инфраструктуре населенных пунктов и промышленных предприятий, эффективность, а также безаварийность ее работы лежат в основе выверенных решений на стадиях проектирования, строительства и в процессе эксплуатации. Функция канализационной насосной станции заключается в способности обеспечивать требуемый напор и расчетный объем подачи сточных вод как в

нормальном режиме, так и с учетом аварийных условий. Критерий надежности станции основан на долговременном, безаварийном режиме работы насосных агрегатов и вспомогательного оборудования.

Экономическое развитие способствуют увеличению нагрузки на элементы системы водоотведения, в связи с чем, необходимо рассматривать новые технические решения, ориентированные на улучшение эксплуатационных показателей и предотвращения негативного воздействия на окружающую среду.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) Турк В.И., Минаев А.В., Карелин В.Я. Насосы и насосные станции. Учебник для вузов. М., Стройиздат. 1976. 304 с
- 2) Киселев П.Г., Альтшуль А.Д., Данильченко Н.В., Каспарсон А.А., Кривченко Г.И., Пашков Н.Н., Слиссский С.М. Справочник по гидравлическим расчетам / коллектив авторов; под ред. П.Г. Киселева. — 4-е изд., С74 перераб. и доп. / Репринтное воспроизведение издания 1972 г. — М.: ЭКОЛИТ, 2011. — 312 с.: ил. ISBN 978-5-4365-0013-3
- 3) Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод / Учебник для вузов: — М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006 — 704 с.
- 4) Чугаев Р.Р. Учебник для вузов. — 5-е изд., репринтное. — М.: ООО «БАСТЕТ», 2008. — 672 с.; ил.
- 5) Н.И. Лихачев, И.И. Ларин, С.А. Хаскин и др. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. Под общ. ред. В.Н. Самохина. — 2-е изд. / перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1981. — 639 с., ил. (Справочник проектировщика). — 1-е изд. вышло под загл.: Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Канализация населенных мест и промышленных предприятий
- 6) Ласков Ю.М., Воронов Ю.В., Калисун В.И. Примеры расчетов канализационных сооружений: Учебное пособие для вузов. — М.: Высшая школа, 1981. — 232 с., ил.
- 7) <http://docs.cntd.ru/document/1200025707> МДК 3-02.2001 технической эксплуатации систем и сооружений коммунального водоснабжения и Правила канализации (дата обращения 15.03.2018 г.)
- 8) <http://docs.cntd.ru/document/1200093820> СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84 (с

Изменениями N 1, 2) (дата обращения 16.03.2018 г.)

9) <http://docs.cntd.ru/document/1200094155> СП32.13330.2012 Канализация.

Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85 (с Изменением N 1) (дата обращения 26.03.2018 г.)

10) Стасева Е.В., Пушенко С.Л. Разработка метода комплексной оценки и управления рисками на площадках предприятий строительной индустрии // Строительство и техногенная безопасность — 2017. - № 8(60). — С. 55-60.

11) Николенко И.В., Крымов Р.С., Жилин К.А. Анализ отказов трубопроводных сетей систем водоснабжения городов Крыма с целью обоснования параметров реконструкции // Строительство и техногенная безопасность — 2017. - № 7(59). — С. 69-82.

12) Нездойминов В.И., Рожков В.С., Григоренко Н.И. рекомендации по методике расчета вакуумной канализации для малых населенных пунктов // Строительство и техногенная безопасность — 2017. - № 7(59). — С. 119-126.

13) <http://docs.cntd.ru/document/901808297>

Федеральный закон «Об охране окружающей среды» (с изменениями на 31 декабря 2017 года) (редакция, действующая с 1 января 2018 года) (дата обращения 17.03.2018 г.)

## References

1. Turk V.I., Minaev A.V., Karelin V.Ya. Nasosy i nasosnye stantsii. Uchebnik dlya vuzov. Moscow, Stroizdat. 1976. 304 p. (in Russian)
2. Kiselev P.G., Al'tshul' A.D., Danil'chenko N.V., Kasparson A.A., Krivchenko G.I., Pashkov N.N., Slisskii S.M. Spravochnik po gidravlicheskim raschetam/kollektiv avtorov ; Editor P.G. Kiseleva. — 4th ed., S74 reprocessed and edited / Reprint edition 1972 — Moscow: EKOLIT, 2011. — 312 p.: ISBN 978-5-4365-0013-3. (in Russian)
3. Voronov Yu.V., Yakovlev S.V. Vodootvedenie i ochistka stochnykh vod / Uchebnik dlya vuzov: — Moscow: Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2006 — 704 p. (in Russian)
4. Chugaev R.R. Uchebnik dlya vuzov. — 5th ed., reprint. — Moscow: ООО «BASTET», 2008. — 672 p. (in Russian)
5. N.I. Likhachev, I.I. Larin, S.A. Khaskin i dr.; Pod obshch. red. V.N. samokhina. Kanalizatsiya naseleennykh mest i promyshlennykh predpriyatii — 2-e izd., pererab. i dop. — Moscow: Stroizdat, 1981. — 639 p., (Spravochnik proektirovshchika). — 1st ed. under the title: Spravochnik proektirovshchika promyshlennykh, zhilykh i obshchestvennykh zdanii i sooruzhenii. Kanalizatsiya naseleennykh mest i promyshlennykh predpriyatii. (in Russian)
6. Laskov Yu.M., Voronov Yu.V., Kalitsun V.I. Primery raschetov kanalizatsionnykh sooruzhenii:

Uchebnoe posobie dlya vuzov. – Moscow: Vysshaya shkola, 1981. – 232 p. (in Russian)

7. MDK 3-02.2001. Operation Requirements for Public Water Supply and Sewer Systems and Facilities. <http://docs.cntd.ru/document/1200025707>. (in Russian)

8. SP 31.13330.2012 Water supply. Pipelines and portable water treatment plants. Updated edition SNiP 2.04.02-84 (with edition 1, 2). <http://docs.cntd.ru/document/1200093820>. (in Russian)

9. SP 32.13330.2012. Wastewater. Pipelines and wastewater treatment plants. Updated edition SNiP 2.04.03-85 (with edition 1). <http://docs.cntd.ru/document/1200094155>. (in Russian)

10. Staseva E.V., Pushenko S.L. Development of a method for integrated risk assessment and management at sites of construction industry

enterprises // Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost' – 2017. 8(60). 55-60 pp.

11. Nikolenko I.V., Krymov R.S., Zhilin K.A. Failure analysis of the pipeline networks of water supply systems in the cities of the Crimea in order to ground the reconstruction parameters // Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost' – 2017. 7(59). 69-82 pp.

12. Nezdoinov V.I., Rozhkov V.S., Grigorenko N.I. Recommendations on the method of calculation of the vacuum sewerage for small towns // Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost' – 2017. 7(59). 119-126 pp.

13. Federal law «on protection environment» (as amended on 31 December 2017) (version effective 1 January 2018) <http://docs.cntd.ru/document/901808297> (date of access 17.03.2018)

## MECHANICAL SEWAGE TREATMENT ON SEWER PUMPING STATIONS AS A METHOD TO DECREASE ANTHROPOGENIC IMPACTS ON THE ENVIRONMENT

D.V. Skibo<sup>1</sup>., M.U. Tolstov<sup>2</sup>

**Summary.** This article discusses the operation of sewage pumping stations. The work of technological equipment used in the process of coarse wastewater treatment is analyzed. Presented "Device for the implementation of coarse wastewater treatment of coarse impurities in sewage pumping stations", as well as a method of calculating the transport capacity of the filtration element.

**Keywords:** water disposal, sewage pumping station, pipelines, rude wastewater treatment, operation



УДК 629.7.036 621

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ПРИ РАБОТЕ  
НА ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЯХ

Боровский Б.И., Дихтярь Т.В.

кафедра теплогазоснабжения и вентиляции

Академия строительства и архитектуры

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»

г. Симферополь, ул. Киевская, 181.

E-mail: tim4enko.[zin@yandex.ru](mailto:zin@yandex.ru)

**Аннотация:** Приведены соотношения для предварительной оценки экономических показателей центробежных насосов при работе на вязких жидкостях по величине коэффициента быстроходности с использованием опубликованных материалов. Коэффициент быстроходности удобен для исследований, так как он является известной величиной уже в начале проектирования насоса. Приведены последовательность и порядок оценки параметров насоса в условиях работы на вязкой жидкости.

**Ключевые слова:** центробежный насос, экономичность, гидравлический, объёмный, дисковый и полный кпд, коэффициент быстроходности насоса, число Рейнольдса, вязкая жидкость.

## ВВЕДЕНИЕ

Насосы входят в различные технические системы, в том числе, в системы, перекачивающие вязкие жидкости. При работе в таких системах насосы теряют уровни своих экономических показателей. Поэтому важно оценить эти параметры уже на стадии начала проектирования насоса. Существующие методы требуют подробного проектирования, сопровождающегося временными и финансовыми затратами. В статье предложены соотношения для оперативной оценки экономических показателей насосов в условиях работы на вязких жидкостях. Возможность такой оценки показателей насоса позволяет одновременно сравнить разные насосы и выбрать насос наиболее приемлемый для работы на вязкой жидкости, не прибегая к испытаниям.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ,  
МЕТОДОВ

Экспериментальные данные получены для центробежных насосов с коэффициентами быстроходности 80 – 120. При этом требуется подробный расчёт насоса для определения чисел Рейнольдса, необходимых для выявления указанных параметров. Не приведены соотношения для нахождения дискового кпд. В работе [2] приводятся экспериментальные результаты испытаний на вязких жидкостях высокооборотных

насосов с коэффициентами быстроходности 30 - 65 и рекомендуется использовать данные работы [1] для высокооборотных насосов с большими коэффициентами быстроходности. Помимо этого, приводится подробный расчёт параметров насоса с целью определения экономических показателей насоса при работе на вязкой жидкости. В книге [3] рассматривается перекачка нефти, имеющей сравнительно низкую вязкость. Изложены три особенности работы центробежного насоса на вязкой жидкости:

- коэффициент быстроходности не зависит от рода жидкости;

- коэффициенты пересчёта неизменны при  $Q = (0,8 - 1,2) Q_0$ ;

- при  $Q = 0$  напор не зависит от вязкости, здесь  $Q_0$  – оптимальная подача, соответствующая максимуму кпд насоса.

Приведен график (рис. 1) зависимости коэффициентов пересчёта

$K_H = H_v/H$ ;  $K_Q = Q_y/Q$ ;  $K_\eta = \eta_v/\eta$  от числа Рейнольдса  $Re = Q_0/D_{ЭКБ}v$ ,

где  $D_{ЭКБ} = (4D_2b_2k)^{0,5}$ ;  $k = 0,9$ ;  $Q_0 - л/с = 10^3$  см<sup>3</sup>/с;  $D_{ЭКБ} - см$ ;  $v - см^2/с$ .

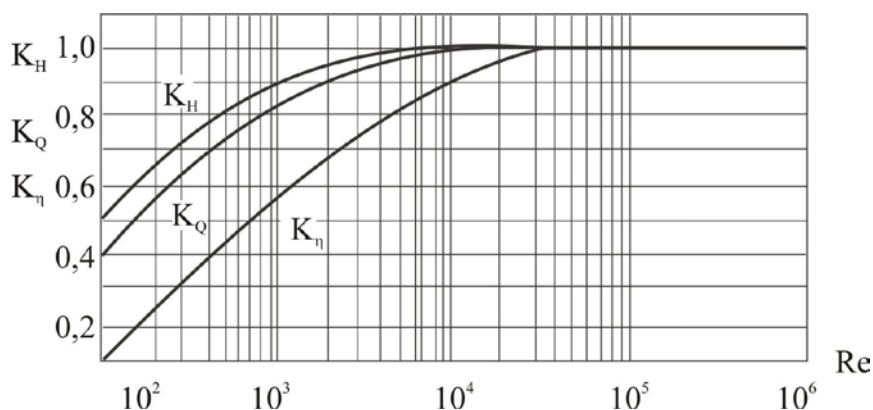


Рис. 1. График пересчёта параметров насоса на вязкую жидкость.

При  $Re = 2 \cdot 10^4$  все коэффициенты пересчёта равны единице. В работе [3] принято уменьшение подачи при работе насоса на вязкой жидкости, в то время как в работе [1] подача поддерживается неизменной.

В книге [4] рассматриваются особенности эксплуатации механических систем в нефтяной промышленности, в том числе и на вязкой нефти. В статье [5] приведены результаты испытаний нескольких насосов на вязких жидкостях, показаны уровни снижения кпд насосов. Зависимости работы [6] позволяют по коэффициенту быстроходности определить кпд одноступенчатых и многоступенчатых насосов при работе на воде, что необходимо для определения параметров насоса при работе на вязкой жидкости.

## ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью статьи является разработка модели оценки экономических показателей центробежных насосов при работе на вязких жидкостях. Задача состоит в определении последовательности и примера оценки экономических показателей для таких условий.

## МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЙ

Методом исследований является анализ литературных данных, проведение необходимых расчётов с последующим построением модели оценки экономических показателей центробежных насосов при работе на вязких жидкостях.

## СНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Полученные в работе [1] параметры в графических зависимостях представляются в виде отношений искомого величины к величине, соответствующей работе насоса на чистой воде.

Поэтому определим параметры насосов при работе на чистой воде.

Формула для определения зависимости кпд центробежных насосов от коэффициента быстроходности и диаметра входа в колесо имеет вид ( $D_0 = 0,1 - 1\text{ м}$ ) [6]:

$$\eta_{\text{макс}} = A / \left( 1 + 71,6/n_s^{4/3} \right) + 0,051(D_0 - 0,1). \quad (1)$$

Коэффициент быстроходности является заданным в начале проектирования насоса. Действительно, рассмотрим выражение для коэффициента быстроходности:

$$n_s = 3,65nQ_c^{0,5} / H^{0,75}, \quad (2)$$

где  $n$  – об/мин;  $Q_c$  – м<sup>3</sup>/с;  $H$  – м.

Видно, что коэффициент быстроходности становится заданной величиной, так как при проектировании или выборе насоса задаются числом оборотов насоса  $n$ , подачей  $Q_c$  и напором  $H$ .

В таблице 1 приведены значения коэффициента  $A$ , входящего в формулу (1).

Таблица 1. Значения коэффициента  $A$ 

Тип насосов	Обозначение коэффициента $A$	Значения
Одноступенчатые	$A_1$	0,853
Двухстороннего входа	$A_d$	0,970
Многоступенчатые спиральные	$A_c$	0,782
Многоступенчатые секционные	$A_{\text{секц}}$	0,940

Мощность насоса (Вт):

$$N = \rho Q_c H_d / \eta, \quad (3)$$

где  $H_d = 9,81 H$  – Дж/кг.

Гидравлический КПД находится из выражения:

$$\eta_r = \eta / \eta_{об} \eta_d \quad (4)$$

Формула для произведения объёмного и дискового КПД получена при числе Рейнольдса  $Re = 3 \cdot 10^5$ , больше которого гидравлический КПД не возрастает (рис. 2), при этом объёмный КПД вычисляется по формуле

$$\eta_{об} = 1 / (1 + 0,68 / n_s^{0,67}), \quad (5)$$

а дисковый КПД определялся с помощью соотношения работы [7], после проведения расчётов насосов при разных  $n_s$ . Получено

$$\eta_{об} \eta_d = 0,737 n_s^{0,042}. \quad (6)$$

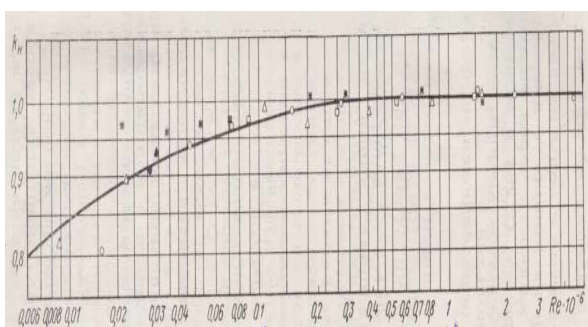


Рис. 2. Зависимость коэффициента  $k_n$  от числа Рейнольдса

- Опытные данные высокооборотных насосов
- $D_2 = 0,104$  м  $n_{sp} = 30$ ; \* -  $0,076$  м  $n_{sp} = 50$ ; -  $0,071$  м  $n_{sp} = 45$ ; -  $0,052$  м  $n_{sp} = 65$

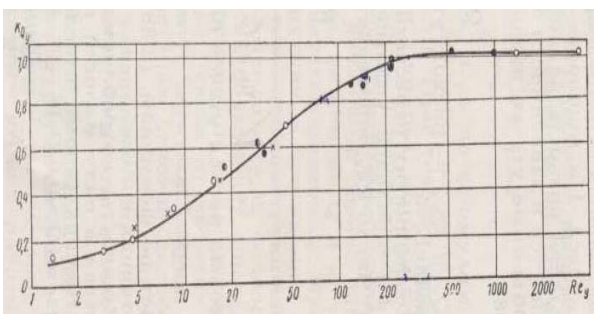


Рис. 3. Зависимость коэффициента  $k_{Qy}$  от числа Рейнольдса

Дисковый КПД определим по полученной формуле,  $n_s \leq 150$ :

$$\eta_d = (0,41 + 0,088 \lg Re) + (0,37 + 0,065 \lg Re) \cdot 10^{-4} n_s \quad (7)$$

В работе [1] число Рейнольдса используется в общепринятом виде

$$Re = D_2^2 \omega / 4\nu, \quad (8)$$

где  $\nu$  –  $m^2/c$ .

Диаметр, входящий в формулу (8), найдём из следующего выражения [7]

$$D_2 = 2H^{0,5} / \omega [K_z \eta_r (1 - q)]^{0,5}, \quad (9)$$

где  $H$  – Дж/кг,  $K_z$  – коэффициент влияния конечного числа лопастей, принимается.

Расходный параметр насоса находится из формулы [8]

$$q = 1 - 2398 (0,33 + 1,1 \cdot 10^{-5} n_s^{1,8})^2 / n_s^{4/3} \quad (10)$$

Отношения напора при работе насоса на вязкой жидкости  $H_v$  к напору на чистой воде  $H$  определяется коэффициентом  $K_H$  при одинаковых объёмных расходах на чистой воде и на вязкой жидкости ( $Q_v = Q$ ) [1]:

$$H_v = K_H H \quad (11)$$

При этом

$$\eta_{rv} = K_H \eta_r \quad (12)$$

Аппроксимация графика (рис. 3) позволила получить следующую зависимость с индексом корреляции 0,999:

при  $Re = 6 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^5$ :

$$K_H = 0,5375 \lg Re - 0,0454 (\lg Re)^2 - 0,583 \quad (13)$$

$K_H = 1$  при  $Re > 3 \cdot 10^5$

Число Рейнольдса рассчитывается по формуле (8) и для вязкой жидкости [1].

Число Рейнольдса уплотнения колеса принято в виде [1]:

$$Re_y = C_y \delta_y / 2\nu, \quad (14)$$

где  $\nu$  в несколько преобразованном виде параметр  $C_y$  записывается следующим образом

$$C_y = u_2 B, \quad (15)$$

здесь

$$B = \{ \bar{H}_r (\eta_{rk} - 0,5 \bar{H}_r) - 0,125 [1 - 1,96 (D_1/D_2)^2] \}^{0,5}$$

Подставим выражение (15) в соотношение

$$Re_y = u_2 B \delta_y / 2\nu, \quad (16)$$

Преобразуем формулу (16)

$$Re_y = D_2^2 \omega B \delta_y / (4\nu D_2). \quad (17)$$

После подстановки формулы (8) в выражение (17) получим

$$Re_y = ReB\delta_y/D_2 \tag{18}$$

Преобразуем отношение  $\delta_y/D_2$

$$\frac{\delta_y}{D_2} = \frac{\delta_y}{D_y} \cdot \frac{D_y}{D_1} \cdot \frac{D_1}{D_2} \tag{19}$$

Наиболее часто

$$\frac{\delta_y}{D_2} = 0,85 \cdot 10^{-3}; \frac{D_y}{D_1} = 1,4$$

Подставим эти численные значения в формулу (19), а затем формулу (19) используем в выражении (18):

$$Re_y = 1,19 \cdot 10^{-3} ReBD_1/D_2 \tag{20}$$

Свяжем в формуле для В коэффициент теоретического напора  $\bar{H}_T$  с коэффициентом быстроходности и используем формулу для отношения  $D_1/D_2$  [8]:

$$\frac{D_1}{D_2} = 0,33 + 1,1 \cdot 10^{-5} n_s^{1,8}$$

Комплекс  $1,19BD_1/D_2$  преобразуется в вид:

$$1,19B \frac{D_1}{D_2} = 0,257 + 0,0003n_s \tag{21}$$

Подставим выражение (21) в соотношение (20) и окончательно получим:

$$Re_y = 10^{-3} Re(0,257 + 0,0003n_s) \tag{22}$$

Таким образом, удалось упростить достаточно сложную формулу для  $Re_y$  (14) из – за входящих составляющих

Аппроксимация графических зависимостей (рис. 3)

$$K_y = 1 \text{ при } Re_y > 300;$$

$$K_y = 0,077 Re_y^{0,61} \text{ при } Re_y = 2 - 15; \tag{23}$$

$$K_y = 0,125 Re_y^{0,43} \text{ при } Re_y = 15 - 75; \tag{24}$$

$$K_y = 0,4 Re_y^{0,16} \text{ при } Re_y = 75 - 300. \tag{25}$$

Последним трём соотношениям соответствует индекс корреляции 0,970 при погрешности 4 – 7%. Утечки при вязкой жидкости определяются по формуле:

$$Q_{yv} = K_y Q_y \tag{26}$$

где  $K_y$  находится по графику (рис. 3) или по аппроксимирующим зависимостям.

Расход утечек на чистой воде определяется по объёмному кпд (5):

$$Q_y = Q(1 - \eta_{об})/\eta_{об} \tag{27}$$

Объёмный кпд на вязкой жидкости вычисляется следующим образом:

$$\eta_{обv} = Q/(Q + Q_{yv}) \tag{28}$$

Полный кпд при работе насоса на вязкой жидкости найдётся с помощью соотношению:

$$\eta_v = \eta_{гv} \eta_{обv} \eta_{дv} \tag{29}$$

В таблице 2 приведены результаты оценки влияния вязкости на параметры насоса. В качестве вязкой жидкости принято машинное масло лёгкое [9].

Таблица 2. Оценка влияния вязкости на параметры центробежного насоса.

№ п/п	Наименование величины	Обозначение	Номер формулы	Размерность	Величина	Примечание
Рабочая среда - вода						
1	Число оборотов	n	-	об / мин	2900	
2	Подача	Q <sub>с</sub>	-	м <sup>3</sup> / с	0,0135	
3	Напор	H	-	м	29	
4	Коэффициент быстроходности	n <sub>с</sub>	(2)	-	98	
5	КПД насоса	η	(1)	-	0,756	
6	Мощность насоса	N	(3)	кВт	5,08	
7	Объёмный кпд	η <sub>об</sub>	(5)	-	0,969	
8	Произведение объёмного и дискового кпд	η <sub>об</sub> η <sub>д</sub>	(6)	-	0,894	
9	Гидравлический кпд	η <sub>г</sub>	(4)	-	0,846	
10	Расходный параметр насоса	q	(10)	-	0,264	
11	Коэффициент влияния числа лопастей	K <sub>z</sub>	(9)	-	0,8	принято
12	Диаметр колеса	D <sub>2</sub>	(9)	м	0,157	
13	Число Рейнольдса	Re	(8)	-	1,87 * 10 <sup>6</sup>	v = 10 <sup>-6</sup> м <sup>2</sup> /с
14	Дисковый кпд	η <sub>д</sub>	(7)	-	0,969	

Рабочая среда - вязкая жидкость						
15	Машинное масло лёгкое	-	-	-	-	
16	Вязкость	$\eta_v$	-	$10^{-2}$ кг/мс	11,3	
17	Кинематическая вязкость	$\nu$	$\eta_v / \rho$	$\text{м}^2 / \text{с}$	$1,26 \cdot 10^{-4}$	
18	Плотность жидкости	$\rho$	-	$\text{кг} / \text{м}^3$	900	
19	Число Рейнольдса	$Re$	(8)	-	$1,49 \cdot 10^4$	
20	Коэффициент напора	$K_n$	(13)	-	0,87	
21	Напор	$H_v$	(11)	м	25,2	
22	Гидравлический кпд	$\eta_{гв}$	(12)	-	0,736	
23	Число Рейнольдса уплотнения	$Re_{сy}$	(22)	-	4,27	
24	Коэффициент утечек	$K_v$	(23)	-	0,187	
25	Утечки	$Q_{vv}$	(26)	л/с	0,080	$Q_v = 0,43$ (27)
26	Объёмный кпд	$\eta_{обv}$	(28)	-	0,999	
27	Дисковый кпд	$\eta_{дв}$	(7)	-	0,783	
28	Полный кпд	$\eta_v$	(29)	-	0,576	
29	Отношение кпд	$\eta_v / \eta$	-	-	0,762	
30	Отношение мощностей	$N_v / N$	-	-	1,027	

Из табл. 2 видно, что на вязкой жидкости кпд насоса уменьшается на 23,8%, однако мощность возрастает всего на 2,7%. Это объясняется снижением плотности на 10% и напора на 13%, что практически компенсирует падение кпд на 23,8%. Интересно отметить, что объёмный кпд незначительно увеличился, всего на 3%, в то время как гидравлический кпд снизился на 13%, а дисковый кпд уменьшился на 19,2%.

При  $Re < 6 \cdot 10^3$  графические зависимости работы [1] уже не дают возможности определить коэффициенты  $H_v$  и  $K_v$ , не прибегая к экстраполяции формул (13) и (23). Рассмотрим пример экстраполяции при использовании в качестве вязкой жидкости глицерина, имеющего наибольшую вязкость среди других жидкостей [9].

Таблица 3. Пример экстраполяции при использовании в качестве вязкой жидкости глицерина.

№ п/п	Наименование величины	Обозначение	Номер формулы	Размерность	Величина
Рабочая среда – глицерин					
1	Вязкость	$\eta_v$	-	$10^{-2}$ кг / мс	139,3
2	Плотность	$\rho$	-	$\text{кг} / \text{м}^3$	1260
3	Кинематическая вязкость	$\nu$	$\eta_v / \rho$	$\text{м}^2 / \text{с}$	$1,106 \cdot 10^{-3}$
4	Число Рейнольдса	$Re$	(8)	-	$1,69 \cdot 10^3$
5	Коэффициент напора	$K_n$	(13)	-	0,68
6	Напор	$H_v$	(11)	М	19,7
7	Гидравлический кпд	$\eta_{гв}$	(12)	-	0,575
8	Число Рейнольдса уплотнения	$Re_{сy}$	(22)	-	0,484
9	Коэффициент утечек	$K_v$	(23)	-	0,049
10	Утечки	$Q_{vv}$	(26)	л / с	0,021
11	Объёмный кпд	$\eta_{обv}$	(28)	-	0,998
12	Дисковый кпд	$\eta_{дв}$	(7)	-	0,700
13	Полный кпд	$\eta_v$	(29)	-	0,402
14	Мощность	$N_v$	(3)	кВт	8,18
15	Отношение кпд	$\eta_v / \eta$	-	-	0,532
16	Отношение мощностей	$N_v / N$	-	-	1,61

Из таблицы 3 следует, что мощность возросла на 61%. Этому способствовало, по сравнению с водой, увеличение плотности на 26% и снижением кпд на 46,8%. Гидравлический кпд уменьшился на 32%, дисковый кпд упал на 27,8%, а объёмный кпд возрос на 3%. По сравнению с машинным маслом лёгким глицерин привёл к снижению полного кпд на 30,2%, к уменьшению гидравлического и дискового кпд на 21,9% и 10,6%. При этом число

Рейнольдса на машинном масле оказалось в 8,8 раз выше, чем на глицерине. Приведенные значения экономических показателей при экстраполяции представляются обычными в случае снижения числа Рейнольдса, вызванного повышением вязкости жидкости в 8,8 раз.

Рассмотрим возможность использования графических зависимостей (рис. 1) [3] для

сравнения с полученными результатами при машинном масле (таблица 2).

Эквивалентный диаметр  $D_{\text{ЭКВ}} = (4D_2 b_2 k)^{0,5}$ ;  
 $k = 0,9$ ;  $D_{\text{ЭКВ}} = (4 \cdot 15,7 \cdot 1,1 \cdot 0,9)^{0,5} = 7,88 \text{ см}$ ;

$v = 1,26 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / \text{с} = 1,26 \text{ см}^2 / \text{с}$ ; число Рейнольдса  $Re = Q_0 / D_{\text{ЭКВ}} v$ ,  $Re = 13,5 \cdot 10^3 / 7,88 \cdot 1,26 = 1,36 \cdot 10^3$ .

Видно, что на графиках рис.1 такое значение  $Re$  даёт  $K_H = 0,99$ ;  $K_\eta = 0,80$ ;  $K_Q = 0,96$ . Эти данные плохо согласуются с результатами расчёта (таблица 2): напор завышается на 14%, а кпд на 5%. Однако, потребляемая насосом мощность на вязкой жидкости ( $N_{v1} = 5,44 \text{ кВт}$ ), рассчитанная по данным рис.1, хорошо согласуется с результатом, приведенным в таблице 2 ( $N_{v2} = 5,22 \text{ кВт}$ ). Различие составляет всего 4,2%.

Рассмотрим полученными результатами при глицерине (таблица 3).

Значение  $v = 1,106 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 / \text{с} = 11,06 \text{ см}^2 / \text{с}$ ; число Рейнольдса  $Re = Q_0 / D_{\text{ЭКВ}} v$ ,

$Re = 13,5 \cdot 10^3 / 7,88 \cdot 11,06 = 1,55 \cdot 10^2$ . На рис.1 такое значение  $Re$  даёт  $K_H = 0,84$ ;  $K_\eta = 0,48$ ;  $K_Q = 0,76$ . Эти данные завышают напор (таблица 3) на 24% и занижают кпд на 10%. Однако, как и в случае масла машинного лёгкого, при глицерине получается с тем же различием 4,2% сходимость мощностей  $N_{v1} = 8,52 \text{ кВт}$  и  $N_{v3} = 8,18 \text{ кВт}$ .

Несоответствие данных рис.1 по  $K_H$  и  $K_\eta$  рассчитанным результатам, видимо, связано с различными исходными положениями: в работе [1] подача поддерживается постоянной при работе насоса на вязкой жидкости, а в книге [3] подача уменьшается. Однако, сходимость мощностей хорошая (различие всего 4,2%).

Отмечалось, что нефть маловязкая жидкость. Рассмотрим это подробнее. В работе [10] отмечается, что в среднем кинематическая вязкость равна 40 – 60 мм<sup>2</sup>/с, а диапазон изменения составляет 2 – 300 мм<sup>2</sup>/с. В связи с тем, что вязкость воды составляет 1 мм<sup>2</sup>/с, то средняя вязкость нефти в 40 -60 раз выше вязкости воды, а диапазон изменения вязкости нефти превышает вязкость воды в 2 – 300 раз. Вместе с тем, принятые в расчётах масло машинное лёгкое и глицерин имеют вязкость 126 и 1100 мм<sup>2</sup>/с.

## ВЫВОДЫ

1. Предложена модель оценки влияния работы центробежных насосов на вязких жидкостях, полученная при дополнительных математических

расчётах обобщении материала опубликованных источников.

2. Приведен пример последовательности и расчёта оценки влияния работы центробежного насоса на вязкой жидкости.

3. В результате преобразований достаточно сложного выражения для числа Рейнольдса уплотнения насоса получено более простое выражение, связанное с обычным выражением для числа Рейнольдса.

4. Получено в примере, что на вязкой жидкости – машинное масло лёгкое - кпд насоса уменьшается на 23,8%, однако мощность возрастает всего на 2,7%. Это объясняется снижением плотности на 10% и напора на 13%, что практически компенсирует падение кпд на 23,8%.

5. Объёмный кпд насоса на вязкой жидкости незначительно увеличился, всего на 3%, в то время как гидравлический кпд снизился на 13%, а дисковый кпд уменьшился на 19,2%.

6. Полученные значения экономических показателей при экстраполяции представляются обычными в случае снижения числа Рейнольдса, вызванного повышением вязкости жидкости, в нашем случае, в 8,8 раз.

7. Несоответствие данных рис.1 по  $K_H$  и  $K_\eta$  расчётным результатам, видимо, связано с различными исходными положениями: в работе [1] подача поддерживается постоянной при работе насоса на вязкой жидкости, а в книге [3] подача уменьшается. Однако, получена хорошая сходимость мощностей, рассчитанных по коэффициентам рис.1 и определённых при оценке влияния вязкости (различие всего 4,2%).

8. Вязкость нефти сравнительно невысока и превышает вязкость воды в 2 – 300 раз. В статье использованы масло машинное лёгкое и глицерин, вязкость которых превышает вязкость воды в 126 и 1100 раз.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Суханов Д.Я. Работа лопастных насосов на вязких жидкостях /Д.Я. Суханов.- М.: Машгиз, 1952. – 46с.
2. Высокооборотные лопаточные насосы // под ред. Б.В. Овсянникова и В.Ф. Чебаевского. – М.: «Машиностроение», 1975. – 336 с.
3. Айзенштейн М.Д. Центробежные насосы для нефтяной промышленности. /М.Д. Айзенштейн. – М.: Гостоптехиздат, 1957. – 363 с.
4. Ибатулов К.А. Гидравлические машины и механизмы в нефтяной промышленности. / К.А.

Ибатулов. – М.: Издательство « Недра », 1972. – 288 с.

5. Васильев И.Е. Влияние вязкой перекачиваемой среды на характеристики магистральных нефтяных насосов / И.Е. Васильев, Д.Н. Китаев, Е.П. Коротких, Т.О. Маслова // Молодые учёные, №9, 2017. – С. 42 – 45.

6. Боровский Б.И. Оценка экономичности одноступенчатых и многоступенчатых центробежных насосов / Боровский Б.И., Дихтырь Т.В. // Сб. Строительство и техногенная безопасность. – 2017. - № 8(60) - С. 81-86.

7. Боровский Б.И. Энергетические параметры и характеристики высокооборотных лопастных насосов / Б.И. Боровский. - М.: « Машиностроение», 1989. – 184 с.

8. Боровский Б.И. Центробежные лопастные насосы с конфузорными рабочими колёсами / Б.И. Боровский. - Симферополь: ООО « Издательство « Доля », 2017. – 56 с.

9. Справочник по элементарной физике. – М.: Издательство: « Наука », 1975. – 255 с.

10. petrodigest. ru. Вязкость нефти.

2. High-speed vane pumps // under the editorship of B. V. Ovsyannikov and V. F. Chepelskogo. - Moscow: "Mechanical Engineering", 1975. - 336 p.

3. Aizenstein, M. D. Centrifugal pumps for the oil industry. / M. D. Eisenstein. – M. Moscow, Leningrad: Gostoptekhizdat, 1957. - 363 p.

4. Abaturov K. A. Hydraulic machines and mechanisms in the oil industry. / K. A. Ibatov. - Moscow: Publishing House "Nedra", 1972. - 288 p.

5. The Influence of viscous pumped medium on the characteristics of oil trunk pumps / I. E. Vasiliev, D. N. Kitaev, E. p. Korotkikh, T. O. Maslova // Young scientists, №9, 2017. – S. 42 – 45.

6. Borovsky B. I. estimation of efficiency of single-stage and multistage centrifugal pumps / Borovsky B. I., Dikhtyar T. V. // SB. Construction and industrial safety. - 2017. - No. 8(60) - Pp. 81-86.

7. Borovsky B. I. Energy parameters and characteristics of high-speed vane pumps / B. I. Borovsky. - М.: "Metallurgy", 1989. - 184 p.

8. Borovsky B. I. rotary vane pumps with impellers of the converging / B. I. Borovsky. - Simferopol: LLC "Publishing house" Dolya ", 2017. - 56 p.

9. Handbook of elementary physics. – М.: Publishing House " Science", 1975. - 255 p.

10. restrodigest. EN. Oil viscosity.

## REFERENCES

1. Sukhanov D. J. Work lobe pumps for viscous liquids /D. Y. Sukhanov.- Moscow: Mashgiz, 1952. - 46с.

## EVALUATION OF ECONOMIC INDICATORS OF CENTRIFUGAL PUMPS WHEN WORKING ON VISCOUS LIQUIDS

Borovsky B.I., Dikhtyar T.V.

**Summary.** The relations for the preliminary assessment of the economic indexes of centrifugal pumps when working on viscous liquids are derived from the speed coefficient with the use of published materials. The speed factor is convenient for research, since it is a known value already at the beginning of the pump design. The sequence and order of the evaluation of the pump parameters under conditions of operation on a viscous liquid.

**Keywords.** Centrifugal pump, economy, hydraulic, volumetric, disk and full efficiency, coefficient of high-speed pump, Reynolds number, viscous liquid.



УДК 628.49: 697.334

## МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОБРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕПЛОЙ СЕТИ

Пашенцев А.И.<sup>1</sup>

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)

ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,

295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181

e-mail: Aleksandr.Pashentsev@mail.ru

**Аннотация.** Представлен методический подход к обработке информации о функционировании тепловой сети, применение которого позволяет получить объективную базу данных, используемую для расчета ее исследуемых параметров. Разработанный алгоритм обработки информации основан на принципах достоверности, однородности, позитивности, своевременности, дискретности. Его отличительной особенностью является возможность проверки базы данных на репрезентативность, определения доверительных интервалов, обоснования теоретического закона распределения параметров функционирования тепловой сети.

**Ключевые слова:** тепловая сеть, информация, обработка, репрезентативность, коэффициент вариации, критерий согласия.

### ВВЕДЕНИЕ

Современные тепловые сети являются сложными техническими системами, состоящими из значительного количества последовательно соединенных конструктивных элементов (труб, трубопроводной арматуры разного диаметра), находящихся под воздействием внешних факторов в течение всего периода эксплуатации. Это способствует накоплению усталостных характеристик и проявлению негативных эффектов в виде внезапных и постепенных отказов, приводящих к снижению проектных характеристик и показателей тепловой сети, что негативно отражается на ее функциональном назначении. Оценить техническое состояние тепловой сети можно располагая достоверной и полной информацией об отказах в периоде времени. Для этого необходимо иметь базу данных, собранную за определенный период времени, прошедшую первичную выборку и позволяющую провести оперативную оценку работоспособности и надежности тепловой сети. Поэтому наличие методического подхода сбора и обработки данных о функционировании тепловой сети, включающей проверку на достоверность и репрезентативность позволит получить объективный показатель ее надежности, что подчеркивает актуальность рассматриваемого вопроса.

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью настоящего исследования является разработка методического подхода к обработке информации о функционировании тепловой сети, включающего выполнение определенных этапов по сбору, обработке и систематизации данных, что позволяет сформировать базу данных, носящих случайный характер. Для достижения поставленной цели решены задачи: дано определение системе сбора информации о функционировании тепловой сети, разработаны принципы обработки информации, обоснован алгоритм обработки базы данных, проведена его апробация на примере реальной тепловой сети.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросам сбора и обработки информации о функционировании тепловой сети посвящены работы многих зарубежных и российских ученых. Так французский ученый А. Бюзеле акцентирует внимание на необходимости установления краткосрочного периода (10 дней) сбора данных об отказах для проведения оперативной оценки надежности системы теплоснабжения [1, с. 32]. Такой подход целесообразно применять в случае накопления системой теплоснабжения усталостных эффектов, выражающееся в систематическом проявлении отказов, что приводит к снижению ее работоспособности и периодической остановке. Однако данный подход характерен для систем,

отличающихся предельным техническим состоянием ее элементов.

Исследованию механизма обработки исходной информации об отказах систем теплоснабжения посвящены работы британского ученого Г. Дайкинса [2, с. 27]. Он считает необходимым применять в расчетах все зафиксированные отказы в течение месяца наблюдений не проводя первичной обработки данных, т.е. не разделяя их на объективные и субъективные. Свою точку зрения он объясняет действием принципа паритетности распространения негативного эффекта на техническую систему любого фактора независимо от абсолютной величины. Данная точка зрения является дискуссионной, так как техническое состояние системы теплоснабжения, характеризующееся показателями надежности, должно оцениваться на основе учета отказов, имеющих ярко выраженный характер технических недочетов в функционировании данной системы. Первичная обработка призвана систематизировать отказы и сгруппировать их по характеру объективности и случайности, так как разработка и реализация мероприятий позволит их исключить в дальнейшем при сохранении проектных показателей функционирования системы теплоснабжения. Кроме того, вызывает некоторые сомнения установление срока наблюдения за работой данной системы. Этот период можно рассматривать как краткосрочный, что позволяет получить информацию для оперативной оценке надежности системы теплоснабжения, требующей уточнения в последующие периоды ее работы.

Польский ученый Я. Жмуда считает, что период наблюдений за системой теплоснабжения можно разбить на несколько в зависимости от времени года: осень, зима, весна, лето [4, с. 78]. Тогда можно получить информацию об отказах в зависимости от температурного режима наружного воздуха, характерного для определенного времени года, при этом количественная составляющая существенно отличается. Так как по мере снижения температуры наружного воздуха значительно повышается нагрузка на тепловые сети, что приводит к увеличению количества отказов. В данном случае в расчетах используется общее количество отказов, без первичной обработки, зафиксированное в течение определенного времени года. Данный подход отличается своеобразием заключения о надежности системы теплоснабжения, в частности выводы делаются на основе одного показателя – интенсивности отказов, который имеет максимальное значение в зимний

период времени ввиду большого количества отказов. Однако этот подход характеризуется субъективностью суждений относительно подсчета общего количества отказов т.е., в летний период времени, когда система теплоснабжения не предоставляет тепловую энергию на отопление, а только на горячее водоснабжение фиксируется минимальное количество отказов, что формирует минимальную интенсивность отказов и максимальный показатель надежности. В этом случае наглядно проявляется наличие разных условий в подсчете общего количества отказов, обусловленное разными климатическими условиями времени года, что изначально закладывает субъективность в показатель надежности системы теплоснабжения.

Исследованию причин, приводящих к отказам на тепловых сетях, посвящены работы российского ученого Е.Н. Богдановича, в которых проводится детальный анализ возникновения аварийных ситуаций на стадии эксплуатации [3]. Здесь акцентируется внимание на выявление причины с целью проведения первичной обработки информационного массива и использования в расчетах отказов, носящих случайный характер. При этом особо уделяется внимание выделению периода времени сбора данных об отказах на тепловых сетях – отопительный сезон. С одной стороны, данный подход не способствует проведению оперативной оценки надежности, а с другой – способствует формированию объективной в долгосрочном периоде времени базы данных об отказах на системах теплоснабжения, что позволяет разработать адекватный механизм первичной обработки, выявить отказы, имеющие нерепрезентативный характер, составить достаточный статистический ряд наблюдений для расчета показателей надежности.

Проведению дифференциации аварийных ситуаций на системах теплоснабжения по масштабу последствий, выражающееся в частоте отключения потребителей от поставок тепловой энергии, посвящены работы Евстафьева Н.К. [5]. Наблюдение за работой системы теплоснабжения проводится в течение отопительного периода, что позволяет получить значительный массив данных об отказах, при этом их общее количество подвергается двукратной обработке. Если первичная преследует цель исключить отказы, имеющие ярко выраженный необъективный характер, т.е. отказы, произошедшие по вине обслуживающего персонала, которые можно в дальнейшем исключить повышением уровня квалификации, то повторная обработка направлена

на детальное изучение причин и проведение группировки отказов по видовому разнообразию: технические, эксплуатационные.

Данный подход отличается объективностью не только по критерию временного лага проведения наблюдения, но и взвешенного определения количества отказов системы теплоснабжения. При этом обращает на себя внимание проведение обработки информации об отказах, основанной исключительно на рассуждениях исследователя без проведения расчетов проверки на репрезентативность.

Построению статистического ряда отказов системы теплоснабжения с группировкой однотипных отказов, определением среднего количества отказов и расчетом их характеристики рассеяния посвящены работы Р.М. Зимарина [6]. В данном случае предлагается применять две схемы сбора информации об отказах в зависимости от необходимости детального изучения функционирования системы теплоснабжения. Первая предусматривает фиксацию отказов в течение отопительного сезона, а вторая – предполагает задание определенного количества отказов и проведение наблюдений за ее работой в периоде времени до момента фиксации заданного количества. Ученый отдает предпочтение первой схеме, позволяющей сформировать объективную базу данных в оптимальном периоде времени. Однако нужно обратить внимание, что в расчетах надежности используются средние значения отказов по группам однотипных отказов. Это вызывает определенные проблемы в получении объективных оценок количества отказов по группам ввиду разного количества групп и количества отказов по группам. Кроме того, для получения оценки надежности системы теплоснабжения ученым предлагается использовать стандартные показатели: математическое ожидание, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации. Несомненно эти показатели можно использовать в решении задачи определения надежности, однако их применение выглядит достаточно тривиально. Как видим в научной литературе ведется дискуссия относительно системы обработки информации о функционировании системы теплоснабжения. На взгляд автора, данная система должна основываться на определенных принципах, способствующих формированию единой точки зрения о признании информационного массива репрезентативным и включать в себя несколько этапов выполнения, которых позволит получить в

дальнейшем объективные оценки надежности тепловой сети.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Функционирование тепловой сети оценивается показателями надежности, объединенные в четыре группы: безотказность, сохраняемость, долговечность, ремонтпригодность, включающие в себя 3-11 показателей. Каждая из них выражает физическую сущность технического состояния тепловой сети в определенный период времени. Однако определяющее влияние на абсолютное значение этих показателей оказывает отказ конструктивного элемента тепловой сети под, которым понимают «событие, приводящее к полному нарушению работоспособности и необходимости проведения ремонтных работ» [8, с. 55]. Наличие достоверной информации об отказах на тепловой сети является важным условием определения объективной оценки ее надежности, что возможно в случае применения системы сбора и обработки информации, и составления адекватной базы данных. При этом сбор информации о функционировании тепловой сети осуществляется с целью развития методов диагностики, проведения технического обслуживания и текущего ремонта, снижения эксплуатационных затрат. Тогда систему сбора и обработки можно охарактеризовать как «совокупность организационно-технических мероприятий, проводимых с целью получения достоверных сведений о надежности объекта исследования, работающего в различных условиях и режимах эксплуатации, оперативной обработки статистических данных и предоставления результатов в форме достаточно удобной для анализа работы технических систем» [10, с. 114]. Можно согласиться с подобной интерпретацией, так как сбор и обработка информации предусматривает разработку и внедрение такой системы наблюдения за работой тепловой сети, которая позволяет фиксировать отказы в периоде времени, детальное изучение, которых позволит выявить скрытые дефекты в конструкциях, приводящих к накоплению усталостных характеристик, способствующих разработке и внесению предложений по совершенствованию изготовления конструктивных элементов, их сборки, испытаний и эксплуатации. Применение данной системы направлено на решение задач:

– систематизация отказов тепловой сети по видовому разнообразию с определением причин их возникновения;

- выявление закономерностей, особенностей и характера возникновения отказов с проведением технико-экономической оценки последствий;
- изучение влияния режима эксплуатации, гидравлической устойчивости тепловой сети на надежность и работоспособность конструктивных элементов и сети в целом;
- обоснование периодичности проведения технического обслуживания и состава ремонтного цикла тепловой сети;
- выявление конструктивных недостатков в эксплуатации тепловой сети, приводящих к снижению ее надежности;
- разработка комплекса технических мероприятий, способствующих повышению эффективности работы тепловой сети;
- определение минимально допустимого уровня надежности конструктивных элементов тепловой сети, не приводящих к нарушению работоспособности сети в целом;
- разработка мероприятий по предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений тепловой сети, способных привести к снижению ее работоспособности;
- создание условий работы тепловой сети, позволяющие ей в долгосрочном периоде времени противостоять негативному воздействию внешних факторов.

Действие системы сбора и обработки информации о функционировании тепловой сети возможно при условии подчинения принципам:

- достоверности – предполагает, что информационный массив истинно отражает процесс эксплуатации тепловой сети, правдиво характеризует происходящие изменения, приводящие к изменению характеристик, вскрывает недостатки, обнаруженные при первичном анализе базы данных;
- полноты – характеризует информационный массив в виде совокупности исчерпывающей базы данных, отражающей основные характеристики работы тепловой сети и принятых решений, направленных на повышение работоспособности [9, с. 18];
- однородности – отражает базу данных, относящейся к однотипным конструктивным

элементам тепловой сети, которые эксплуатируются в одинаковых условиях и режимах, что позволяет определить тенденции развития позитивных и негативных эффектов, способных оказать прямое воздействие на технические параметры сети;

- периодичности – предусматривает поступление определенного массива информации о работе тепловой сети в равные промежутки времени с указанием количественного состава отказов и причин, что позволяет установить тенденцию изменения технического состояния тепловой сети и предоставить прогнозную оценку на ближайшую перспективу [7, с. 14];

- дискретности - предполагает предоставление информации, разделенной по отдельным характеристикам, признакам, особенностям, что позволяет провести их группировку с проведением дифференциации по степени важности, негативности относительно изменения технического состояния тепловой сети;

- универсальности – предусматривает использование одинакового набора показателей, применяемого к разным конструктивным элементам тепловой сети (трубы, запорно-регулирующая арматура, фасонные части разного диаметра и материала изготовления), что позволяет сформировать объективную базу данных.

Система сбора и обработки базы данных о функционировании тепловой сети характеризуется стадийностью выполнения определенных действий исследователем, которые можно условно подразделить на три вида: информационная, аналитическая, расчетная. Первая стадия (информационная) включает в себя этапы 1-2 (рис. 1) и направлена на формирование совокупности исходных данных, представление ее в удобной для исследователя форме с указанием частоты повторения изучаемого параметра. Вторая стадия (аналитическая) включает стадии 3-6 и направлена на формирование объективной базы данных о работе тепловой сети для последующего использования в расчетах и построения моделей. Третья стадия (расчетная) включает стадии 7-10 и направлена на определение абсолютной величины исследуемого параметра тепловой сети в виде интервальной оценки и проведения проверки правильности полученных моделей. Рассмотрим эти стадии подробно.

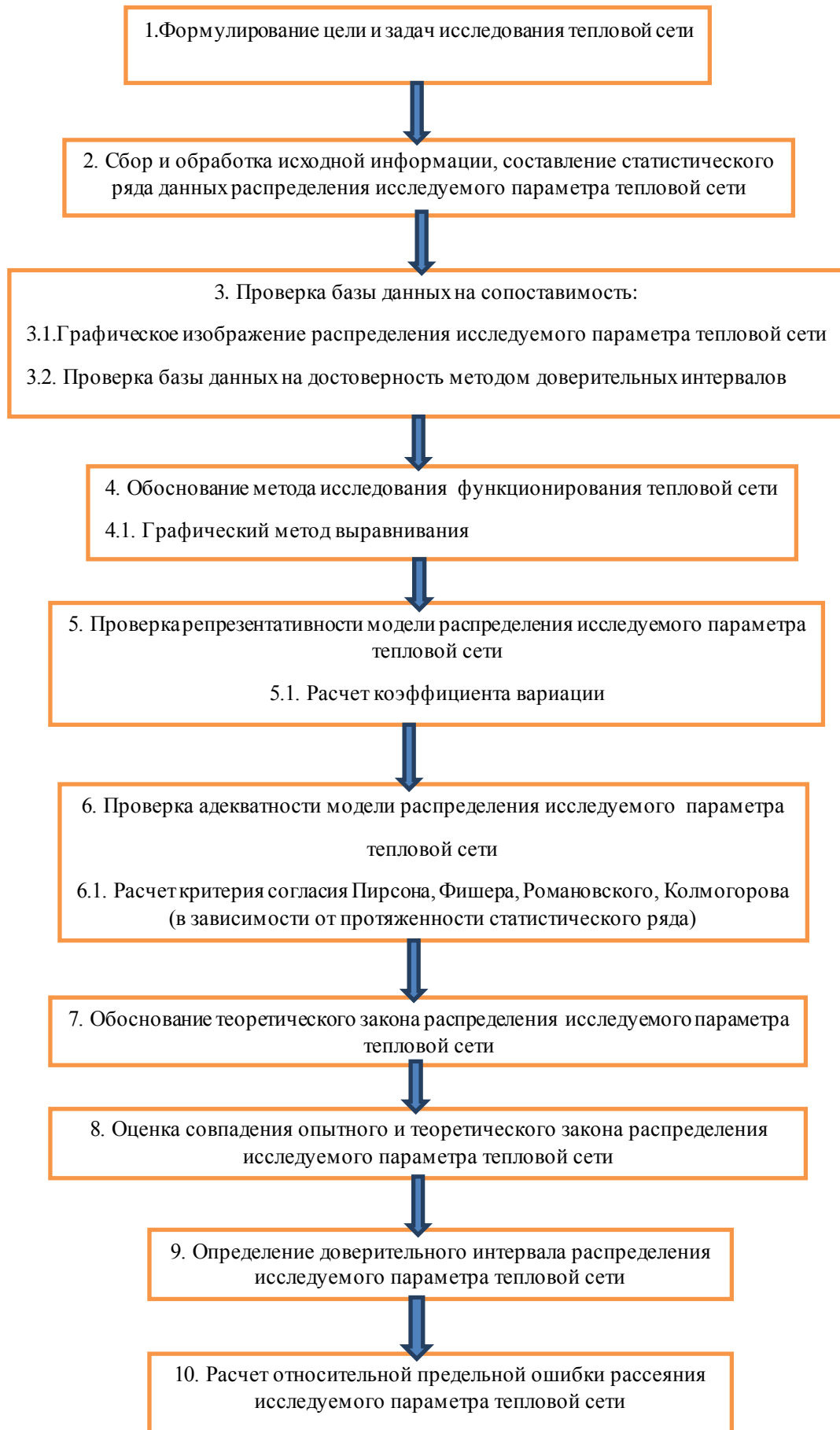


Рис. 1. Блок-схема обработки информации о функционировании тепловой сети

Информационная стадия состоит из двух составляющих. Первая акцентирует внимание на формулировании цели и задач исследования тепловой сети, предусматривая выделение одного или нескольких изучаемых параметров от количества, которых зависит объем требуемой первичной информации. Если ставится задача изучения одного параметра, то объем данных может быть представлен в виде усеченной выборки т.е., в данном случае сбор информации осуществляется в краткосрочном периоде времени с целью проведения оперативной оценки технического состояния тепловой сети. При изучении нескольких параметров, где необходимо в дальнейшем установить степень тесноты между ними, информационный массив должен быть представлен в виде полной выборки. В этом случае целесообразно провести детальную разбивку тепловой сети на типовые элементы под, которыми будем понимать «конструктивный элемент тепловой сети, выполняющий одинаковую функцию и по которому проходит одинаковый расход теплоносителя» [10, с. 84] с группировкой по количественному составу. Тогда формулирование цели объективно будет отражать назначение проводимого исследования с акцентированием внимания на идеальном воспроизведении в языковой форме объективной актуальности проводимого исследования. Понять возможность достижения поставленной цели можно через раскрытие задач решение, которых позволит установить желаемый результат. При этом количество задач может быть разным в зависимости от сложности установления количественного соотношения изучаемых конструктивных элементов и параметров взаимодействия друг на друга. Однако общее их количество должно быть оптимальным, позволяющим получить позитивный результат. В связи с этим при необходимости уточняются требования применительно к конкретным условиям практической реализации решения задачи. Поэтому, имея окончательное представление о количестве составе задач исследования, целесообразно приступить к выполнению второй составляющей – сбор и обработка исходной информации, составление ряда данных распределения исследуемого параметра тепловой сети. При изучении работы тепловой сети нужно стремиться к составлению статистического ряда исходной информации, при этом количество данных в ряду не должно быть меньше 25. Имея данные по изучаемому параметру функционирования тепловой сети целесообразно провести их первичную обработку, что включает в

себя расчет количества интервалов и протяженности интервалов распределения параметра [6, с. 33]:

$$N = 1 + 1,31 \lg n; \quad (1)$$

где  $N$  – количество интервалов;  $n$  – количество данных статистического ряда наблюдений.

$$l = (t_{\max} - t_{\min}) / n; \quad (2)$$

где  $t_{\max}$ ;  $t_{\min}$  – соответственно наибольшее и наименьшее значение исследуемого параметра тепловой сети в статистическом ряду наблюдений.

Для проведения расчетов с высоким уровнем надежности необходимо определять протяженность интервала распределения исследуемого параметра тепловой сети, используя доверительную вероятность:

$$l = 1 - (1 - i)^{1/n}; \quad (3)$$

где  $i$  – уровень доверительной вероятности.

Аналитическая составляющая состоит из пяти составляющих. Проверка базы данных на сопоставимость включает в себя четыре этапа проверки, что позволяет уточнить совокупность информационного массива и путем первичной обработки исключить некоторые данные, имеющие субъективный характер. Графическое изображение распределения исследуемого параметра тепловой сети строится по данным статистического ряда, используя гистограмму, полигон частот или кривую накопления опытных данных исследуемого параметра. Наиболее перспективным, с точки зрения изучения распределения параметра тепловой сети, является полигон или гистограмма, позволяющие определить абсолютное значение предельного состояния, для этого нужно определить отношение между площадью полигона (гистограммы) в определенном интервале распределения параметра к общей площади. В этом случае получим значение, указывающее на количество параметра тепловой сети в долях единицы. Если требуется определить реальное значение параметра, то необходимо умножить на количество точек информации. Графическое изображение позволяет получить наглядность распределения изучаемого параметра и рассчитать реальное значение параметра для различных интервалов распределения, что позволит сделать вывод об оптимальном значении параметра тепловой сети. В процессе обработки

статистических и экспериментальных данных функционирования тепловой сети нужно исключить грубые ошибки ряда. Появление этих ошибок оказывает существенное влияние на объективность результата исследования. Однако прежде, чем исключить некоторые данные, необходимо убедиться, что это действительно грубая ошибка, а не отклонение в результате статистического разброса. Более достоверным является метод доверительных интервалов, применяемый в случае наличия малой выборки данных параметра тепловой сети, где используются выражения [11, с. 283]

$$\beta_1 = (x_{\max} - x_{cp}) / \sigma \cdot \sqrt{(n-1)/n}; \quad (4)$$

$$\beta_2 = (x_{\min} - x_{cp}) / \sigma \cdot \sqrt{(n-1)/n}; \quad (5)$$

где  $x_{\max}$ ,  $x_{\min}$ ,  $x_{cp}$  – соответственно наибольшее, наименьшее, среднее значение из статистического ряда;  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение исследуемого параметра тепловой сети.

Если выполняется условие  $\beta_1 > \beta_{\max}$ , то нужно исключить из статистического ряда значение  $x_{\max}$ , при выполнении условия  $\beta_2 < \beta_{\min}$  исключается  $x_{\min}$ .

Для оперативной оценки достоверности статистического ряда данных распределения параметра тепловой сети целесообразно воспользоваться правилом трех сигм, т.е. разброс случайных величин от среднего значения не должен превышать значение, определяемое по выражению 6 [11, с. 283]:

$$x_{\max, \min} = x_{cp} \pm 3\sigma; \quad (6)$$

При исследовании работы тепловой сети, располагая длинным рядом статистических данных, возникает необходимость проверки исходных данных на достоверность, т.е. на их повторяемость в определенных пределах измерений с заданной доверительной вероятностью. В общем случае ее можно провести, используя неравенство:

$$x_{cp} / \sigma \geq 3; \quad (7)$$

где  $x_{cp}$  – среднее арифметическое значение исследуемого параметра тепловой сети;  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение изучаемого параметра тепловой сети.

Однако выражение (7) целесообразно применять для оперативной оценки достоверности

исходных данных, когда есть возможность повторить измерение и уточнить численное значение параметра. В случае необходимости детального исследования достоверности массива информации целесообразно воспользоваться критерием согласия Кохрена. В этом случае исходные данные считаются достоверными, если выполняется неравенство [11, с. 289]:

$$K_{кр} \leq K_{кт}; \quad (8)$$

где  $K_{кр}$  – расчетный критерий согласия Кохрена,  $K_{кт}$  – табличный критерий согласия Кохрена.

Если при расчете нарушается выполнение неравенства (8), то необходимо увеличить количество данных в статистическом ряду распределения изучаемого параметра тепловой сети.

Обоснование метода исследования тепловой сети преследует цель отображения объекта исследования в знаковой форме с применением математических выражений и обеспечение возможности исследования как конструктивного элемента в частности, так и тепловой сети в целом, а также их свойств путем анализа информации представленной в знаковой форме. В процессе исследования тепловой сети используется статистический ряд наблюдений, представленный в виде распределения двух величин, когда каждому значению  $y_1, y_2, y_n$  соответствует определенное значение  $x_1, x_2, x_n$ . Такое соответствие можно представить в виде эмпирической формулы некоторого вида  $y = f(x)$ . Здесь задача состоит в подборе эмпирической формулы в пределах измеренных значений аргумента  $x_1 - x_2$ , которые имеют тем большую ценность, чем больше соответствуют результатам эксперимента. Осуществить подбор формулы, описывающей развитие процесса изменения изучаемого параметра можно, используя два подхода. Первый представляет собой графический метод выравнивания, применяемый в случаях, когда экспериментальная кривая на сетке прямоугольных координат имеет вид плавной кривой. Тогда применяя методы обработки данных (логарифмирование, средних квадратов, малых квадратов, наименьших квадратов, полиномов) можно получить эмпирическую формулу изменения изучаемого параметра. Эти методы обеспечивают достаточный уровень надежности результата, при этом степень точности постоянных коэффициентов способствует получению объективного функционального значения, т.е.

изучаемого параметра тепловой сети. Однако более точным и менее трудозатратным методом подбора эмпирических формул является эмпирический, состоящий из двух этапов:

1. Данные статистического ряда наносим на сетку прямоугольных координат, соединяем экспериментальные точки и ориентировочно подбираем вид формулы.

2. Определяем параметры формулы, которые наилучшим образом соответствуют принятой формуле.

Наличие математической формулы, описывающей изменение исследуемого параметра тепловой сети, позволяет рассчитать его численное значение. Полученный результат нужно проверить на репрезентативность, что можно осуществить с помощью коэффициента вариации, представляющего «относительную безразмерную величину, характеризующую рассеяние изучаемого показателя или параметра» [12, с. 32].

$$V = \sigma / (t_{cp} - C); \quad (9)$$

где  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение изучаемого параметра тепловой сети;  $t_{cp}$ ,  $C$  – соответственно среднее значение и смещение изучаемого параметра тепловой сети.

Применение коэффициента вариации позволит сделать вывод о достигнутой объективности на стадии проверки исходных данных и оценить разброс полученного значения изучаемого параметра тепловой сети. При этом значение данного коэффициента более 0,45 означает, что полученное значение параметра тепловой сети на основе определенной эмпирической формулы содержит в себе значительную долю субъективизма, т.е. не является репрезентативным. В том случае, когда получен позитивный результат по коэффициенту вариации, необходимо проверить полученную эмпирическую формулу, представляющую собой математическую модель изменения параметра тепловой сети на адекватность, что можно сделать используя критерии согласия Фишера, Пирсона, Романовского, Колмогорова в зависимости от протяженности статистического ряда исходных данных. Критерий Фишера целесообразно применять для определения адекватности модели при малых выборках исходных данных, для чего нужно воспользоваться выражением [11, с. 312]:

$$K_{фэ} \leq K_{фт}; \quad (10)$$

где  $K_{фэ}$ ,  $K_{фт}$  – соответственно экспериментальное и теоретическое (табличное) значение критерия Фишера.

При больших выборках исходных данных о функционировании тепловой сети (более 100) нужно использовать критерий согласия Пирсона, согласно которого гипотеза распределения подтверждается по выражению [11, с. 313]:

$$p(\psi^2, \theta) \geq \alpha = 1 - \phi(x); \quad (11)$$

где  $\alpha$  – уровень значимости, принимаемый 0,10;  $\psi$  – критерий согласия Пирсона;  $\theta$  – число степеней свободы.

Критерий согласия Романовского целесообразно применять при больших выборках исходной информации, но не более 75-80, для чего используется выражение [11, с. 315]:

$$K_p = (\psi^2 - \theta) / 2\theta^{0,50}; \quad (12)$$

При этом позитивным результат проверки считается, если расчетное значение данного критерия меньше 3.

Критерий Колмогорова применяется при больших выборках исходной информации изменения исследуемого параметра тепловой сети (более 100), для чего необходимо статистическую кривую частот преобразовать в статистическую интегральную функцию, после чего определить наибольшую разность частот между экспериментальной статистической интегральной кривой и соответствующей теоретической интегральной кривой. Данный критерий можно определить [11, с. 316]:

$$\lambda = \mu k^{0,50}; \quad (13)$$

где  $\lambda$  – критерий согласия Колмогорова;  $\mu$  – наибольшая разность частот;  $k$  – количественная составляющая выборки исходных данных. При этом позитивным результат проверки считается, если расчетное значение критерия Колмогорова больше 0,05.

Расчетная стадия обработки информации о работе тепловой сети состоит из четырех составляющих. Практика эксплуатации тепловых сетей показывает, что их работа в большинстве случаев подчиняется законам распределения: нормальному, экспоненциальному, Вейбулла. Необходимо осуществить проверку гипотезы подчинения работы тепловой сети одному из этих законов. В первом случае применяются

дифференциальная и интегральная функция распределения. Особенностью дифференциальной функции является симметричное рассеяние частных показателей исследуемого параметра тепловой сети относительно среднего значения. Во втором случае, основным параметром для тепловой сети является параметр потока отказов (восстанавливаемые объекты), который принимает минимальное значение и доказывает, что сеть успешно прошла период приработки и достигла основных проектных показателей. В третьем случае необходимо использовать дифференциальную функцию распределения с коэффициентами, характеризующими параметры распределения закона Вейбулла. Однако окончательный выбор закона распределения изучаемого параметра тепловой сети осуществляется оценкой совпадения опытного (определенного по статистическим данным) и теоретического законов по критерию согласия Пирсона  $\chi^2$ , который дает объективные оценки. Для этого нужно рассчитать критерий согласия соответственно для законов нормального, экспоненциального, Вейбулла. Располагая тремя значениями критерия согласия можно сделать вывод о выборе закона распределения для дальнейших расчетов, таковым является тот, для которого характерно наименьшее значение данного критерия. Это позволит определить вероятность совпадения опытных и теоретических распределений параметра тепловой сети. При этом критической вероятностью совпадения является  $P=0,10$ . В случае, если  $P<0,10$ , то теоретический закон распределения является необъективным и нужно повторить расчеты по выбору и обоснованию закона распределения. Возможна ситуация, когда вновь проведенные расчеты позволят определить иной закон распределения – нормальный усеченный, биномиальный, логарифмический, что указывает на наличие специфических условий функционирования тепловой сети. После установления закона распределения целесообразно рассчитать доверительные границы рассеяния одиночного значения изучаемого параметра тепловой сети, для чего можно воспользоваться формулами, свойственными для определенного закона распределения. Назначение этих расчетов состоит в определении доверительного интервала изменения

параметра тепловой сети, имеющего верхний и нижний предел [6, с. 98]:

$$\tau_{\beta} = t^{\beta}_{\beta} - \tau^{\beta}_{\beta}; \quad (14)$$

где  $\tau^{\beta}_{\beta}$ ,  $t^{\beta}_{\beta}$  – соответственно верхняя и нижняя доверительная граница изменения параметра тепловой сети.

Заключительной стадией является расчет относительной предельной ошибки рассеяния исследуемого параметра тепловой сети, для чего необходимо располагать данными: значение среднего показателя параметра  $t_{cp}$  и верхняя доверительная граница  $\tau^{\beta}_{\beta}$  [6, с.103]:

$$\delta_{\beta} = (\tau^{\beta}_{\beta} - t_{cp}) / t_{cp}; \quad (15)$$

Если относительная предельная ошибка не превышает 0,050 (5%), то результат определения закона распределения параметра тепловой сети, доверительного интервала изменения параметра являются объективными. Апробация методики обработки информации о функционировании тепловой сети осуществлена на примере тепловой сети по ул. Аксакова г. Ялта, фрагмент для диаметра трубы 273\*5 представлен в таблице 1

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработаны принципы построения методического подхода к обработке информации о функционировании тепловой сети, предложена блок-схема данного подхода с детальным обоснованием каждой стадии и их математическим обоснованием, проведена апробация методики, результаты которой свидетельствуют о ее объективности: коэффициент вариации 0,23; оценка совпадения 23,723,7 > 10; предельная ошибка 3,14 < 5.

Таблица 1. Показатели апробации методического подхода обработки информации о функционировании тепловой сети

Статистический ряд распределения наработки на отказ участка тепловой сети диаметром 273* 5							
Интервал, тыс. час.	1,50-2,00	2,00-2,50	2,50-3,00	3,00-3,50	3,50-4,00	4,50- 5,00	5,00-5,50
Суммарная вероятность, P	0,09	0,12	0,27	0,61	0,83	0,92	0,99
Коэффициент вариации, V	0,23						
Среднее значение, $t_{cp}$ , час	4089						
Значения дифференциальной и интегральной функции (нормальный закон)							
f(t)	0,04	0,11	0,21	0,32	0,27	0,17	0,09
F(t)	0,02	0,17	0,29	0,48	0,79	0,89	0,99
Оценка совпадения	Нормальный 23,7>10						
Доверительный интервал,	$\tau_{\beta}^{\text{н}} = 4217$ час				$\tau_{\beta}^{\text{н}} = 3927$ час		
Ошибка предельная	3,14<5 – закон распределения и доверительный интервал объективные						

## ВЫВОДЫ

1. Разработан методический подход к обработке информации о функционировании тепловой сети, включающий в себя три принципиальные стадии, состоящие из десяти составляющих: информационная (1-2 стадии), аналитическая (3-6 стадии), расчетная (7-10 стадии). Данный подход позволяет определить закон распределения параметра тепловой сети и доверительный интервал его изменения с верхней и нижней границами.

2. Проведена апробация предложенного методического подхода на примере реально функционирующей тепловой сети, полученные результаты свидетельствуют об ее объективности и возможности применения для исследования особенностей работы тепловых сетей, работающих в разных условиях.

3. Обоснованы принципы применения методического подхода в контексте решения задач, направленных на разработку технических мероприятий, способствующих повышению эффективности работы тепловой сети.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бюзеле А. Работоспособность систем горячего водоснабжения: монография / А. Бюзеле пер. с франц. Е.И. Богдановой. – М: Развитие, 2009. – 194.

2. Дайкинс Г. Методы испытаний на трение конструктивных элементов технических систем: монография / Г. Дайкинс пер. с англ. А.Е. Борисова. – Казань: Итил, 2014. – 188 с.

3. Богданович Е.Н. Оценка эффективности систем теплоснабжения / Е.Н. Богданович // СОК. – № 1, 2014. – С. 17-27 с.

4. Жмуда Я. Конструирование систем теплоснабжения: монография / Я. Жмуда пер. с англ. Р.А. Гаврилова. - Воронеж: ИСД, 2015. – 288 с.

5. Евстафьев Н.К. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем: монография / Н.К. Евстафьев. – СПб: Наука, 2009. - 278 с.

6. Зимарин Р.М. Надежность технических систем: учебник / Зимарин Р.М. – Самара: Мысль, 2012. – 208 с.

7. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем: учебник для Вузов. – М: Магистр-Пресс, 2005. - 228 с.

8. Пашенцев А.И. Технические императивы обеспечения эксплуатационной надежности городских систем теплоснабжения: монография / А.И. Пашенцев, Л.В. Пашенцева, А.А. Гармидер. - Симферополь, КФУ им. В.И. Вернадского, 2017. – 120 с.

9. Пашенцев А.И. Основы научных исследований: учебное пособие / Пашенцев А.И., Гармидер А.А. – Симферополь, КФУ им. В.И. Вернадского, 2017. – 124 с.

10. Кравченко И.Н. Оценка надежности и оборудования: теория и практика: учебник / И.Н. Кравченко, Е.А. Пучин, А.В. Чепурин. – М: Альфа-М, 2015. – 215 с.

11. Крутов В.И. Основы научных исследований: учебное пособие / Крутов В.И., Грушко И.М., Попов В.В. – М.: Высшая школа, 1989, - 400 с.

12. Проников А.С. Параметрическая надежность машин: учебное пособие / Проников А.С. – М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 198 с.

## REFERENCES

1. Buzele A. the Efficiency of hot water systems: monograph / A. Buzele translation from French. E. I. Bogdanova. - M: Development, 2009. - 194.
2. Dykins G. Methods of testing the friction of the structural elements of technical systems: monograph / G. Dykins per.from English. A. E. Borisov. - Kazan: ITIL, 2014. - 188 p.
3. Bogdanovich E. N. Evaluation of the efficiency of heat supply systems / EN. Bogdanovich // SOK. – No. 1, 2014. – S. S. 17-27
4. Zmuda J. Design of heating systems: monograph / Y. Imada per.from English. R. A. Gavrilova. - Voronezh: ISD, 2015. - 288 p.
5. Evstafyev N. K. Modern methods of ensuring reliability of complex technical systems: monograph/N. K. Evstafiev. - SPb: Nauka, 2009. - 278 p.
6. Zimarin R. M. the Reliability of technical systems: textbook / Zimarin R. M. – Samara: Idea, 2012. - 208 p.
7. Zorin V. A. fundamentals of performance of technical systems: textbook for Universities. - M: Master's Press, 2005. - 228 p.
8. Pashentsev A. I. Technical imperatives of ensuring the operational reliability of an urban heating systems: monograph /A. I. pashentsev, L. V. Pashentseva, A. A. Garmider. - Simferopol, Kazan Federal University im. V. I. Vernadsky, 2017. - 120 p.
9. Pashentsev A. I. Fundamentals of scientific research: textbook/ pashentsev A. I., A. A. Garmider – Simferopol, Kazan Federal University im. V. I. Vernadsky, 2017. - 124 p.
10. Kravchenko I. N. Evaluation of reliability and equipment: theory and practice: textbook / In. Kravchenko, E. A. Puchin. A. V. Chepurin. - M: Alpha-M, 2015. - 215 p.
11. Krutov V. I. Fundamentals of scientific research: textbook/ Krutov V. I., Grushko I. M., Popov V.-M.: Higher school, 1989, - 400 p.
12. Parametric reliability of machines: textbook / Pronikov A. S.-M: MSTU them. H. Uh... Bauman, 2002. - 198 p.

METHODOLOGICAL APPROACH TO PROCESSING THE INFORMATION OF THE  
FUNCTIONING OF THERMAL NETWORK

Pashentsev A.I.

**Summary.** The methodical approach to information processing about functioning of thermal network is presented. Its application allows to receive the objective database, used for calculation of its researched parameters. The developed algorithm of information processing is based on the principles of reliability, uniformity, positivity, timeliness, discretization. Its distinctive feature is possibility of the database verification on representativeness, definition of confidential intervals, justification theoretical law of distribution of parameters of thermal network functioning.

**Keywords:** thermal network, information, processing, representativeness, variation coefficient, criterion of consent.



УДК 628.49: 697.334

## ТИПИЗАЦИЯ ОТКАЗОВ ГОРОДСКИХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Пашенцева Л.В.<sup>1</sup>

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)  
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,  
295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181  
E-mail: lar111isa@mail.ru

**Аннотация.** Представлена структурно-логическая схема типизации отказов тепловых сетей с выделением трех групп отказов (трубопроводы, трубопроводная арматура, прочие). Проведено распределение отказов на тепловых сетях Крыма за период 2010-2016 гг. с выделением приоритетных причин отказов: коррозия труб, разрыв сварных швов, гидравлический удар, механические повреждения, нарушение соосности труб, поломка трубопроводной арматуры, влияние смещения почвы, строительный брак. Установлены приоритетные виды отказов тепловых сетей гг. Симферополь, Евпатория, Керчь, Ялта.

**Ключевые слова:** тепловая сеть, отказ, коррозия труб, гидравлический удар, механические повреждения.

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время физический износ городских тепловых сетей (ГТС) Крыма оценивается в 68-73% [4, с. 98], что приводит к возникновению аварийных ситуаций, утечкам теплоносителя, увеличению затрат на восстановление работоспособности, нарушению гидравлической устойчивости и снижению рентабельности предприятий, эксплуатирующих тепловые сети. При этом своевременное выявление дефектов в конструкциях данных сетей позволяет провести мероприятия по предупреждению аварий в отопительный период. При обследовании трубопроводов и объектов ГТС проверяется возможность продления периода нормальной эксплуатации. В процессе эксплуатации тепловых сетей периодически контролируется их техническое состояние с целью своевременного обнаружения дефектов и выполнения комплекса мероприятий. Их функциональное предназначение может быть нарушено в результате разного рода повреждений, типизация которых позволит структурировать отказы тепловых сетей с последующей разработкой мероприятий по их предупреждению.

**ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ  
ИССЛЕДОВАНИЯ**

Целью исследования является разработка типизации отказов тепловых сетей Крыма для достижения, которой решены задачи: проведено распределение отказов на тепловых сетях Крыма за период 2010-2016 гг., представлена структурно-логическая схема отказов на тепловых сетях, проанализированы и выявлены приоритетные виды

отказов на тепловых сетях гг. Евпатория, Керчь, Симферополь, Ялта.

**АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

Вопросам исследования технического состояния тепловых сетей посвящены работы многих российских ученых. Так А.Р. Арефьев акцентирует внимание на необходимости наличия информации об отказах тепловых сетей в течение отопительного сезона, что позволит получить объективные оценки их работоспособности [1, с. 23-31]. Однако оценка работоспособности не учитывает данные об отказах в весенне-летний период, что заставляет усомниться в ее объективности.

Исследованию причин, приводящих к отказам на тепловых сетях, посвящены работы Е.Н. Богдановича, в которых проводится детальный анализ возникновения аварийных ситуаций на стадии эксплуатации [2]. Здесь основное внимание уделяется раскрытию особенностей протекания внутренней и наружной коррозии труб тепловых сетей. При этом не достаточно уделено внимания изучению причин возникновения гидравлического удара, особенностям согласования работы тепловой сети и насосно-силового оборудования.

Систематизации факторов, способствующих накоплению негативных эффектов и проявлению отказов на тепловых сетях, посвящены работы О. Е. Данилова, в которых представлена характеристика технических и эксплуатационных факторов [3, с. 41-61]. Однако в них в не полной мере представлена увязка факторов с причинами, что не позволяет установить приоритетность определенного фактора в возникновении аварий.

Проведению дифференциации аварийных ситуаций на тепловых сетях по масштабу последствий посвящены работы А. В. Колобова, в которых сделан акцент на определение экономического ущерба в зависимости от сложности отказа [5, с. 87-99]. Исследования проведены на примере тепловых сетей, обслуживающих жилые микрорайоны в крупных городах (50 тыс. чел.). При этом отказ взят за факт проявления негативного эффекта без раскрытия причин и установления приоритетного вида отказа. Как видим в научной литературе ведется дискуссия относительно рассмотрения отказов на городских тепловых сетях и причин их возникновения. На взгляд автора в основе изучения и оценки технического состояния тепловых сетей находится объективная статистическая база, представленная в абсолютном выражении с распределением в периоде времени. Такой подход позволит систематизировать информационный массив, выявить преобладающие виды отказов и разработать мероприятия по их минимизации.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Применен аналитический метод исследования отказов тепловых сетей на основе сбора и обработки информации об аварийных ситуациях, имевших место на данных сетях в наиболее представительных городах Крыма.

Применение регистрационных карточек отказов тепловых сетей позволило собрать и систематизировать данные об отказах, имевших место на городских тепловых сетях Крыма за период 2010-2016 гг. Для этого была использована информация от региональных объединений «Теплокомунэнерго» и данные Республиканского комитета жилищно-коммунального хозяйства Крыма. Вся информация детально проанализирована и в дальнейшем в анализе использовались отказы, имеющие случайный характер, что подчеркивает их принадлежность к периоду нормальной эксплуатации городских тепловых сетей. Кроме того, была проведена идентификация между отказами и дефектами, что позволило окончательно принять решение относительно реального количества отказов. Те отказы, которые явились следствием низкой квалификации персонала, не были включены в общий перечень отказов, так как их можно исключить в дальнейшем проведением программ по повышению уровня квалификации персонала. Также для проведения систематизации был использован количественный подход, что позволило провести распределение отказов не только во времени, но и по причинам возникновения (табл. 1.).

Таблица 1. Распределение отказов на городских тепловых сетях Республики Крым

Годы	Отказы в общем, шт.	Причины возникновения отказов						
		А	Б	В	Г	Д	Е	Ж
2010	1793	621	347	171	281	121	168	84
2011	1808	742	321	182	239	101	134	89
2012	1835	773	302	164	249	119	149	79
2013	1932	781	349	172	284	108	164	74
2014	1904	829	359	161	225	114	132	84
2015	1955	841	372	157	261	122	124	78
2016	1935	859	367	151	234	114	121	89
Всего	13162	5446	2417	1158	1773	799	992	577
%		41,38	18,36	8,79	13,47	6,08	7,53	4,39
Место в рейтинге		1	2	4	3	6	5	7

где А – коррозия труб; Б – разрыв сварных швов; В – гидравлический удар; Г – механические повреждения, нарушение соосности труб; Д –

поломка трубопроводной арматуры; Е – влияние смещения почвы; Ж – строительный брак.

Основной причиной отказов ГТС по рейтинговой оценке является коррозия труб (41,38%), что можно объяснить наличием ионов  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  в почве и грунтовых водах, неудовлетворительным состоянием изоляционного покрытия стальных труб. Кроме того, 75-82% сетей теплоснабжения Крыма эксплуатируются более 35-40 лет и им необходим капитальный ремонт, что проблематично в условиях недостатка финансирования. Изношенность ГТС оценивается 60-67% и может наступить такой момент, когда они не смогут выполнять свои функции по причине наступления отказов на магистральных и распределительных трубопроводах. Разрыв сварных швов (18,36%) является причиной, по которой наблюдаются отказы на трубопроводах тепловых сетей диаметром более 250 мм. Это можно объяснить тем, что при выполнении сварных работ не всегда можно обеспечить провар металла с обеих сторон (внутренней и внешней стороны трубы). Известно, что некачественный сварной шов может стать причиной аварийной ситуации на участке трубопровода при изменении давления в нем на 0,25 - 0,30 Па.

Трубопроводы городских тепловых сетей, расположенные в жилых микрорайонах находятся в зоне влияния городского автотранспорта. Они находятся под их воздействием, что приводит к нарушению соосности труб, смещению и изгибу. Также они могут пересекать другие инженерные коммуникации и сооружения, автомобильные

дороги и трамвайные пути, что приводит к влиянию на них блуждающих токов. Поэтому отказы ГТС по причине

механического повреждения, что оценивается в (13,47%) для Крыма является значимыми.

Особенностью территориального расположения крымского полуострова является то, что он является

конечной точкой поставки газа. Поэтому очень часто давление в сети газопроводов значительно изменяется, особенно в зимний период времени (отопительный). Те жилые микрорайоны, которые имеют конечное размещение тепловых сетей, находятся под угрозой недопоставки газа в пункты подачи теплоносителя. Это приводит к изменению режима работы ГТС с корректировкой мероприятий по выходу на проектную мощность ее работы. Именно постепенное и последовательное достижение этой мощности не всегда удается достигнуть без отказов и аварийных ситуаций. Поэтому может быть спровоцирована ситуация,

проводящая к гидравлическому удару, который возникает по причине значительных изменений давления в теплопроводе (от 0 до рабочего), быстрым закрытием задвижек на магистральных и распределительных трубопроводах, внезапной остановкой сетевого насоса, а также его пуском при открытом затворе. На отказы по причине гидравлического удара приходится 8,79%, что занимает четвертое место по рейтингу.

Необходимо отметить, что значительные территории Крыма находятся под воздействием оползневых процессов, подразделяемые на активные и пассивные, периодически и постоянно действующие. Район южного берега Крыма находится под влиянием активно и постоянно действующих оползней, в зону влияния которых попадают тепловые сети. Своевременное проведение гидрогеологических исследований может предоставить объективную информацию о состоянии территории в текущий период времени и способствовать разработке прогноза изменения ситуации. Именно это является приоритетным в разработке дальнейших планов эксплуатации ГТС, что позволит сэкономить значительные финансовые ресурсы с последующим направлением их на участки теплопроводов, непосредственно требующих немедленного проведения работ по укреплению почвогрунтов. На отказы по причине смещения почвогрунтов приходится 7,53%, что соответствует пятой позиции в рейтинговой оценке.

Правила эксплуатации систем теплоснабжения требуют своевременного проведения технического осмотра, для чего установлены обязательные сроки его проведения для разных элементов ГТС. Однако в большинстве случаев он проводится формально и в документах отражается необъективная информация. Это относится и к трубопроводной арматуре срок нормальной эксплуатации, которой при условии выполнения всех необходимых мероприятий, составляет десятки лет. Именно этот факт привел к тому, что ее обслуживанию уделяется незначительно внимания, что способствовало росту отказов задвижек, регуляторов давления, составляющие 6,08% (шестой ранг по рейтинговой оценке).

Проведение текущего ремонта по ликвидации отказов должно осуществляться с проверкой качества проведенных работ. Это может минимизировать случаи, когда ремонтные работы не ликвидировали отказ, а создали прецедент постепенного развития скрытого отказа и дефектов.

Именно такой подход проведения ремонтных работ привел к росту отказов по причине строительного брака (4,39%), что соответствует седьмому рангу по рейтинговой оценке. Поэтому принимая во

внимание выше указанное можно предложить типизацию отказов городских тепловых сетей Крыма (рис. 1).



Рис. 1. Типизация отказов городских тепловых сетей Крыма

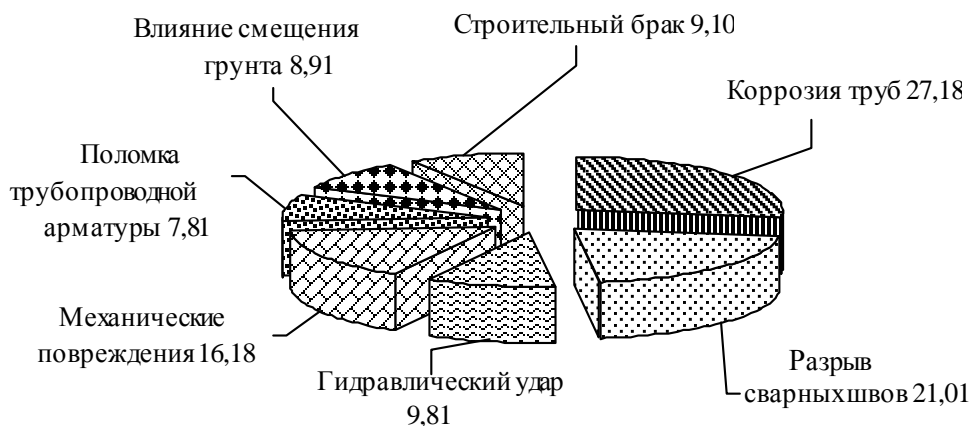


Рис. 2. Распределение отказов на тепловых сетях в г. Симферополь 2010-2016 г.г.

Однако необходимо отметить, что это является авторским видением, которое основывается на результатах анализа отказов ГТС Республики Крым. Кроме того считаю, что она может быть дополнена при наличии результатов более детального анализа, который охватывает больший период наблюдений. Однако предложенная типизация охватывает основные виды отказов, которые характерны практически для всех тепловых сетей Крыма.

Анализ отказов ГТС по городам Крыма позволил выявить те из них, где причины отказов

непосредственно связаны с эксплуатацией и перегрузкой. Это направлено на то, чтобы из информационного массива отказов на ГТС осуществить выборку преобладающих видов отказов и сосредоточить внимание на их ликвидации, и разработке мероприятий внедрение, которых позволит устранить отказы при дальнейшей эксплуатации тепловых сетей. Основными причинами отказов на ГТС г. Симферополь является коррозия (27,18%), разрыв сварных швов труб (21,01%), механические повреждения (16,18%) (рис. 2).

Существенным является процент отказов по причине некачественного монтажа сварных швов,

что можно объяснить применением в городе бесшовных горячекатанных труб, монтируемых между собой способом электро- или газосварки. Прочность шва ослабляется в результате «непровара» металла, образования пустот, попадания в шов неметаллических элементов. Так при анализе 38 случаев отказов по причине разрыва швов теплопроводов было выявлено 53,73% попаданий в него неметаллических элементов, что свидетельствует о прямом нарушении правил проведения сварочных работ. Также высокий процент составляет нарушение соосности трубопроводов систем теплоснабжения, что является следствием действия механического воздействия автотранспорта. В городе Симферополь большинство магистральных теплопроводов расположено под автодорогами, которые находятся под постоянным воздействием автотранспорта 15-19 час. в день. Кроме того, в летний период возрастает интенсивность движения по разным оценкам в 2,25-3,25 раз [6, с. 81]. Следствием этого является рост отказов городских тепловых сетей по этой причине непосредственно в летний период времени. Так, если в 2010 г. доля таких отказов составляла 17,23%, то в 2016 г. уже 24,21% [8, с. 68]. Поэтому, сегодня в городе достаточно сложная ситуация, которая настоятельно требует разработки и внедрения комплексной программы перенаправления движения автотранспорта с целью снижения нагрузки на подземные магистральные и распределительные теплопроводы. Это нужно

осуществить, так как в городе 72-77 % всех тепловых сетей построены еще в советский период развития Крыма и они, в настоящее время, не выдерживают нагрузки по причине их изношенности и воздействия внешних факторов.

Основными причинами отказов на тепловых сетях г. Евпатория является разрыв сварных швов (28,31%), коррозия труб (23,89%), механические повреждения (23,10%) (рис. 3). В городе применяются бесшовные горячекатанные и электросварные прямошовные трубы со спиральным швом. Однако качество выполнения сварного шва является слабым местом в строительстве и ремонте тепловых сетей. Анализ 32 случаев наступления отказов на городских тепловых сетях по причине нарушения прочности шва позволил выявить распределение характеристики:

1. «Непровар» металла – 26,29 %.
2. Образование пустот – 51,23%.
3. Попадание неметаллических элементов – 22,48%.

Это свидетельствует о том, что проведение сварочных работ осуществляется с нарушением существующей технологии, что выражается в значительных перерывах во времени при проведении работ. За это время металл успевает остыть, а продолжение работ с остывшим металлом приводит к возникновению пустот в виде налета мелких пузырей.

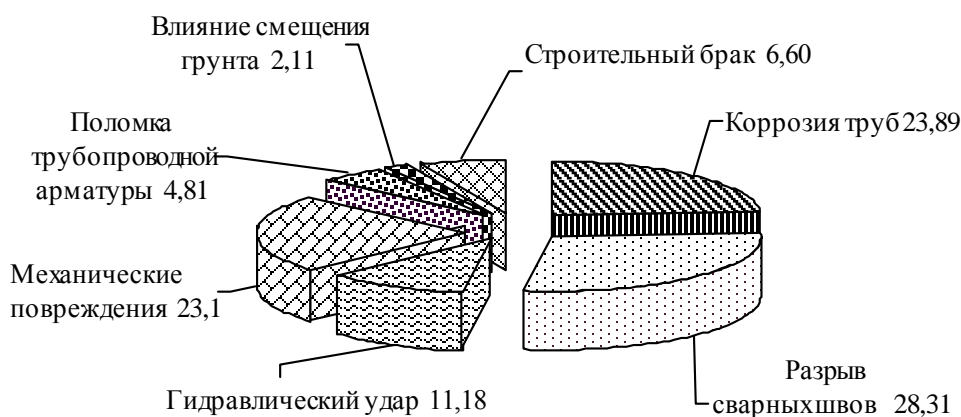


Рис. 3. Распределение отказов на тепловых сетях в г. Евпатория в 2010-2016 г.г.

Также имеет значительный процент коррозия поверхности трубопроводов, где коррозия

внутренней поверхности труб превышает внешнюю. Как известно г. Евпатория находится в

конечной точке поставки газа, а значительные колебания давления в сетях газоснабжения приводят к нарушению режима нормальной работы городских систем теплоснабжения. В этом случае возможно отключение жилых микрорайонов и перевод ГТС на периодический режим работы с последующим пуском и обеспечением требуемых параметров. Это приводит к тому, что на дне труб после сброса теплоносителя остаются продукты коррозионного процесса, вымываемые после запуска системы теплоснабжения, что приводит к образованию свищей. Поэтому в настоящее время для города первоочередным заданием является обеспечение непрерывности подачи газа с необходимым давлением, что позволит поддерживать нормальный режим функционирования систем теплоснабжения города.

Основными причинами отказов на городских тепловых сетях г. Керчь является разрыв сварных швов (23,11%), коррозия труб (19,17%), гидравлический удар (14,73%) (рис. 4.). В этом городе, в отличие от гг. Симферополь, Евпатория, основной причиной отказов является «непровар» металла стыков труб при проведении ремонтных работ. Это можно объяснить применением труб с разной толщиной стенки, что приводит к «эффекту сползания металла», т.е. металл не удается разогреть до одинаковой температуры с обеих сторон шва, что вынуждает проводить дополнительный разогрев металла в результате, чего шов становится рыхлым [7, с. 23].

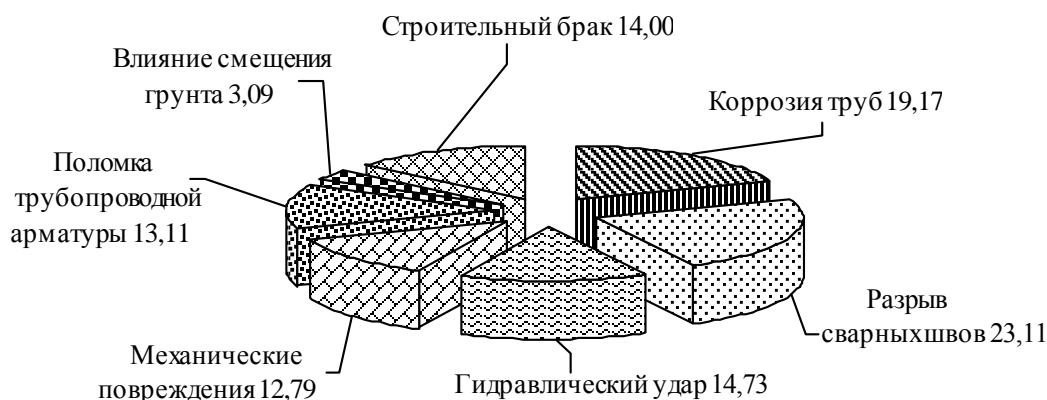


Рис. 4. Распределение отказов на тепловых сетях в г. Керчь 2010-2016 г.г.

При этом даже незначительная механическая нагрузка или изменение гидравлического режима приводят к образованию деформаций и свищей. При анализе 24 случаев отказов по причине разрыва сварных швов 58,24% произошло при «непроваре» металла. Необходимо отметить наличие значительного процента отказа тепловых сетей города при изменении гидравлического режима, что происходит вследствие существенных изменений давления в ГТС при транспортировке теплоносителя. Причем изменение режима может наблюдаться 2-3 раза в течение квартала, что является следствием нарушения режима энергоснабжения.

Основными причинами отказов городских тепловых сетей г. Ялта являются коррозия труб (19,11%), влияние смещения почвогрунтов

(18,43%), разрыв сварных швов (18,21%) (рис.5). Территория города находится в зоне влияния оползней, что накладывает определенный отпечаток на режим работы данных сетей. Атмосферные осадки при значительном уклоне местности могут привести к насыщению и смещению почвогрунтов с размещенными на них инженерными коммуникациями. Поэтому сегодня уделяется внимание проведению работ по укреплению опасных участков как в самом городе, так и его прибрежных окрестностях. За исследуемый период 2010-2016 гг. отказы на тепловых сетях г. Ялта характеризуются комплексным характером, т.е. влияние атмосферных осадков усиливает развитие коррозионного процесса внешних стенок труб в агрессивной среде почвогрунтов при наличии ионов  $Cl^-$ .

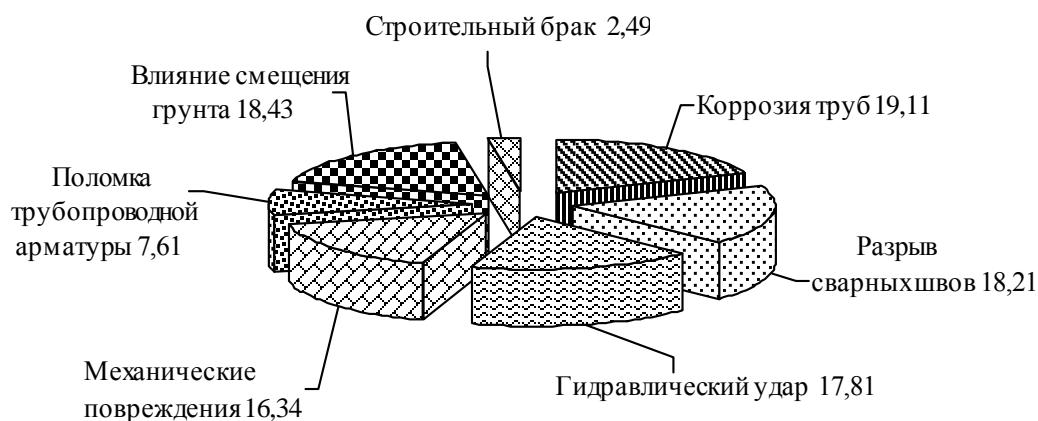


Рис. 5. Распределение отказов на тепловых сетях в г. Ялта в 2010-2016 г.г.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведенный анализ отказов на тепловых сетях в городах Крыма позволил установить основные причины возникновения аварийных ситуаций: разрыв сварных швов (18,36 %), коррозия труб (41,38 %), механические повреждения и нарушение соосности труб (13,47%), гидравлический удар (8,79 %), поломка трубопроводной арматуры (6,08%), влияние смещения почвогрунтов (7,53%), строительный брак (4,39%).

## ВЫВОДЫ

1. Установлена типизация отказов тепловых сетей с выявлением преобладающих видов отказов – коррозия труб, разрыв сварных швов.
2. Разработана структурно-логическая схема отказов тепловых сетей, объединенных в три группы: отказы труб, отказы трубопроводной арматуры, прочие отказы.
3. Основными причинами отказов на городских тепловых сетях являются:
  - г. Симферополь: коррозия труб, разрыв сварных швов труб, механические повреждения;
  - г. Евпатория: разрыв сварных швов, коррозия труб, механические повреждения;
  - г. Керчь: разрыв сварных швов, коррозия труб, гидравлический удар;
  - г. Ялта: коррозия труб, влияние смещения почвогрунтов, разрыв сварных швов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Арефьев А.Р. Организация эксплуатации систем теплоснабжения : монография / А.Р. Арефьев. – Казань.: ИТИЛ, 2011. – 212 с.
2. Богданович Е.Н. Оценка эффективности систем теплоснабжения / Е.Н. Богданович // СОК. – № 1, 2014. – С. 17-27 с.
3. Данилов О.Е. Особенности работы объектов теплоэнергетики: монография / О.Е. Данилов. – Симферополь.: Салгир, 2013. –200 с.
4. Жданов П.Р. Городские системы энергосбережения: монография / П.Р. Жданов. – Спб: Научная мысль, 2016. – 198 с.
5. Колобов А.В. Наладка систем теплоснабжения : монография / А.В. Колобов – Псков.: Научное обозрение, 2014. – 188 с.
6. Леонтьев А.Р. Крым – курорт: монография / А.Р. Леонтьев. – Ялта.: СПР, 2016. – 288 с.
7. Пашенцев А.И. Технические императивы обеспечения эксплуатационной надежности городских систем теплоснабжения: монография / А.И. Пашенцев, Л.В. Пашенцева, А.А. Гармидер. - Симферополь, КФУ им. В.И. Вернадского, 2017. – 120 с.
8. Пашенцев А.И. Особенности теории надежности систем теплоснабжения / А.И. Пашенцев. Л.В. Пашенцева, А.А. Гармидер / Информационные технологии в науке нового времени.- Сб. ст. междунауч.- практ. конф. – 2017.- часть.- С.68-70

## REFERENCES

1. Arefiev, A. R. the Organization and operation of heating systems : monograph / A. R. Aref. – Kazan.: ITIL, 2011. - 212 p.

2. Bogdanovich E. N. Evaluation of the efficiency of heat supply systems / EN. Bogdanovich // SOK. – No. 1, 2014. – S. S. 17-27
3. Danilov O. E. Features of the objects of heat power engineering: monograph / O. E. Danilov. – Simferopol.: Salgir, 2013. -200 С.
4. Zhdanov p. R. Urban energy-saving systems: monograph/p. R. Zhdanov. -SPb: Scientific thought, 2016. - 198 p.
5. Kolobov A.V. Adjustment of heat supply systems: monograph / A.V. Kolobov – Pskov.: Scientific review, 2014. - 188 p.
6. Leontyev A. R. Crimea-resort: monograph / A. R. Leontyev. – Yalta.: JWP, 2016. - 288 p.
7. Pashentsev A. I. Technical imperatives of ensuring the operational reliability of an urban heating systems: monograph /A. I. pashentsev, L. V. Pashentseva, A. A. Garmider. - Simferopol, Kazan Federal University im. V. I. Vernadsky, 2017. - 120 p.
8. Pashentsev A. I. Features of the theory of reliability of heat supply systems /АИ]. L. V. Pashentseva, A. A. Garmider / Information technologies in modern science.- Sat. St. int.science.-prakt. Conf. - 2017.- part.- P. 68-70

## TYPICAL FACILITIES OF CITY THERMAL NETWORKS

Pashentseva L.V.

**Summary** The structural and logical plan of refusals typification of thermal networks with allocation of three groups of refusals is submitted (pipelines, pipeline fittings, other). The distribution of refusals on thermal networks in the Crimea during 2010-2016 is carried out. The priority causes of failures are allocated: corrosion of pipes, rupture of welded seams, water hammer, mechanical damages, violation of coaxiality of pipes, breakage of pipeline fittings, influence of the soil displacement, construction defects. The priority types of refusals of thermal networks in Simferopol, Yevpatoriya, Kerch, Yalta are established.

**Keywords:** thermal network, refusal, corrosion of pipes, water hammer, mechanical damages.

УДК 621.314.522-026

## АНАЛИЗ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЧАСТОТЫ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ

Бекиров Э.А., Анафиев А. И.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)

ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,

295493 РК г. Симферополь, ул. Киевская, 181

E-mail: kaf\_energo@cfuv.ru

**Аннотация:** в статье рассматриваются проблемы анализа механических характеристик асинхронного двигателя при частотном управлении. Предложена математическая модель векторного управления в математическом пакете Matlab/Simulink. На основе математической модели асинхронного двигателя разработаны алгоритм и программа нахождения механических характеристик. Получены графики механических переходных процессов в асинхронном двигателе при изменении частоты питающей сети.

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, частотное управление, механические характеристики, математическая модель, алгоритм, Matlab/Simulink.

### ВВЕДЕНИЕ

Широкому распространению АД способствует создание систем управления электроприводом с применением управляемых преобразователей частоты и напряжения, а также устройств на базе микропроцессоров.

Самый распространенным в настоящее время способом регулирования скорости вращения асинхронного электропривода является частотное управление. Чаще всего его динамика исследуется с помощью упрощенных моделей с отклонениями в малом. Более точную структурную схему для дальнейшего компьютерного моделирования можем получить благодаря использованию векторной модели асинхронного двигателя. [3]

В стандартной библиотеке Simulink уже присутствует готовая блок-функция асинхронного двигателя. Данный блок включает в себя математическую модель асинхронного двигателя на основе упрощенной схемы замещения с постоянными параметрами. При самостоятельном построении математической модели можно учесть зависимость параметров схемы замещения в зависимости от частоты протекающего тока. [5]

**Цель:** Анализ работы асинхронного двигателя при изменении частоты питающего напряжения. Предоставление наиболее простой модели, для анализа процессов в трехфазном АД при его частотном регулировании, при помощи математического пакета Simulink, а также методами численного интегрирования на языке более низкого уровня.

**Методы исследования:** Объектно-ориентированный язык программирования с++, Математическое моделирование в среде Matlab/Simulink.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Исходными данными для математического моделирования АД являются:

Напряжение сети  $U_1$ , В;

Частота питающей сети  $f_1$ , Гц

Активное сопротивление обмотки статора  $r_1$ , Ом;

Активное сопротивление обмотки ротора приведенное к обмотке статора  $r_2$ , Ом;

Реактивное сопротивление обмотки статора  $X_1$ , Ом;

Реактивное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора  $X_2$ , Ом;

Активное сопротивление эквивалентное потерям в стали сердечника статора  $r_0$ , Ом;

Индуктивное сопротивление эквивалентное действию основного магнитного потока на обмотку статора  $X_0$ , Ом;

Момент инерции асинхронного двигателя.

При изменении частоты питающей сети изменяются  $X_1, X_2, X_0$ . Если ввести коэффициент то параметры схемы замещения изменятся следующим образом:

$$X_{1a} = X_1 \cdot \alpha; \quad X_{2a} = X_2 \cdot \alpha; \quad X_{0a} = X_0 \cdot \alpha.$$

Активное сопротивление обмотки статора  $r_1$  и ротора  $r_2$ , момент инерции асинхронного двигателя  $J$ , остаются постоянными при изменении частоты.

Механическая характеристика асинхронного двигателя определяем по следующей формуле [6]:

$$M = \frac{m_1 p}{2\pi f_1} \cdot \frac{U_1^2 \cdot \frac{r_2}{s}}{\left(r_1 + \frac{r_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2)^2}, \quad (1)$$

где при все параметры, кроме скольжения  $S$  постоянны.

При пуске асинхронного двигателя ротор его неподвижен, т.е. скольжение равно единице. Если в выражение для момента двигателя подставить скольжение  $s = 1$ , то пусковой момент:

Максимальный момент машины находим через уравнение производной  $\frac{dM}{ds}$  приравненной нулю. И из полученного равенства определим скольжение  $s_{max}$ , при котором момент будет максимален:

Откуда 
$$\left[ s \left( r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + s (X_1 + X_2')^2 \right]' = 0$$
,  
или 
$$r_1^2 + (X_1 + X_2')^2 - \left( \frac{r_2'}{s_{max}} \right)^2 = 0.$$

Скольжение, соответствующее максимальному моменту:

$$s_{max} = \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (X_1 + X_2')^2}} \tag{4}$$

Подставив значение  $s_{max}$  в выражение вращающего момента, найдем максимальный момент [6]:

Согласно закону Костенко, чтобы обеспечить оптимальный режим работы асинхронного двигателя при всех значениях частоты и нагрузки, относительное напряжение двигателя необходимо изменять пропорционально произведению относительной частоты на корень квадратный из относительного момента двигателя. Закон Костенко описывается уравнением [7]:

При частотном регулировании удовлетворяющим закону (6) абсолютное скольжение асинхронного двигателя остается практически неизменным.

Диапазон регулирования скорости вращения двигателя по рассматриваемому закону ограничен сверху и снизу.

Закон был получен в пренебрежении падением напряжения в активных сопротивлениях статора и насыщением магнитной цепи.

На основе вышеприведенных формул составлен алгоритм и программа вычисления механической характеристики АД. Исходные данные для расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры рассчитываемой трехфазной асинхронной машины.

Номинальное напряжение U, В	380
Число фаз	3
Число пар полюсов	1
Номинальная частота f, Гц	50
Момент инерции	0,025
Активное сопротивление обмотки статора $r_1, \text{Ом}$	2,64
Активное сопротивление приведенной обмотки ротора	2,77
Индуктивное сопротивление обмотки статора $x_1, \text{Ом}$	5,52
Индуктивное сопротивление приведенной обмотки статора	4,8
$r_0, \text{Ом}$	1,92
$x_0, \text{Ом}$	77

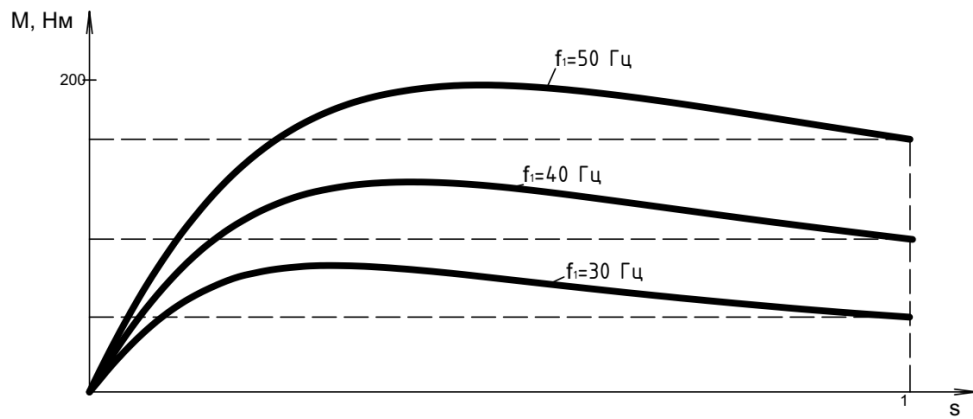


Рис. 1. Механическая характеристика АД при разных частотах

Полученные выше соотношения определены при условии, что параметры двигателя не зависят от скольжения. Такой подход допустим при исследованиях переходных процессов, связанных с небольшими отклонениями скольжения от рабочего значения. Для более точного исследования процессов в асинхронном двигателе необходимо учитывать зависимость активного сопротивления ротора от скольжения.

Для более детального изучения из изменения параметров асинхронного двигателя вычислим его параметры из математической модели АД. Рассмотрим математическую модель в системе координат  $Oxy$ , вращающейся синхронно со скоростью вращения магнитного поля статора.

Принимая допущение, что обмотки электродвигателя подключены к симметричным трехфазным источникам питания, то уравнения Кирхгофа для фазных напряжений статора АД [2]:

$$\begin{aligned} u_{1a} &= i_{1a}r_1 + \frac{d\psi_{1a}}{dt}; \\ u_{1b} &= i_{1b}r_1 + \frac{d\psi_{1b}}{dt}; \\ u_{1c} &= i_{1c}r_1 + \frac{d\psi_{1c}}{dt}, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $u_{1a}, u_{1b}, u_{1c}$  – напряжение фаз А, В и С;

$r_1$  – сопротивление обмотки статора;

$i_{1a}, i_{1b}, i_{1c}$  – токи фаз А, В и С;

$\psi_{1a}, \psi_{1b}, \psi_{1c}$  – потокосцепления фаз статора.

Модуль электромагнитного момента АД, выраженный через векторы потокосцепления статора  $\overline{\psi_1}$  и вектор тока ротора  $\overline{i_2}$  [2]:

$$M_{\text{Э}} = -\frac{3}{2}z_p k_1 (\overline{\psi_1} \times \overline{i_2}) = -\frac{3}{2}z_p k_1 (-\psi_{1y}i_{2x} + \psi_{1x}i_{2y}) = \frac{3}{2}z_p k_1 (\psi_{1y}i_{2x} - \psi_{1x}i_{2y}), \quad (8)$$

где  $k_1 = \frac{L_m}{L_1}$  – коэффициент связи статора.

Проекция тока ротора на оси  $Oxy$  [2]:

$$\begin{aligned} i_{2x} &= \frac{k_1}{r'(1+pT')} \left( \frac{\psi_{1x}}{T_1} - \psi_{1y}\omega_r - u_{1x} + i_{2y}\omega_2 \frac{L'_2}{k_1} \right) \\ i_{2y} &= \frac{k_1}{r'(1+pT')} \left( \frac{\psi_{1y}}{T_1} + \psi_{1x}\omega_r - i_{2x}\omega_2 \frac{L'_2}{k_1} \right) \end{aligned} \quad (9)$$

где  $r' = k_1^2 r_1 + r_2$ , а  $T' = \frac{L'_2}{r'}$

При помощи выражений (9) можно построить структурную схему преобразования напряжения  $u_{1x}$  и частоты  $\omega_1$  статора в фазные токи ротора

$i_{2x}$  и  $i_{2y}$  обобщенного асинхронного двигателя при известных проекциях вектора потокосцепления

$$\psi_{1x}, \psi_{1y}$$

статора и частоты вращения ротора. Но потокосцепление статора можно выразить через ток ротора с помощью выражения:

$$\overline{\psi}_1 \left( \frac{1}{T_1} + p + j\omega_1 \right) = \overline{u}_1 + i_2 k_1 r_1 \tag{10}$$

Разделяя вещественную и мнимую составляющие, получим:

$$\begin{aligned} \psi_{1x} &= \frac{T_1}{((1 + pT_1))(u_{1x} + i_{2x}k_1r_1 + \psi_{1y}\omega_1)}; \\ \psi_{1y} &= \frac{T_1}{((1 + pT_1))(i_{2y}k_1r_1 + \psi_{1x}\omega_1)}; \end{aligned} \tag{11}$$

Основное уравнение привода:

$$M_{\text{Э}} - M_c = Jp\omega_r \tag{12}$$

где  $M_{\text{Э}}$  – электромагнитный момент асинхронного двигателя;

$M_c$  – противодействующий момент АД;

$J$  – суммарный момент инерции, состоящий из момента инерции самой машины и приведенного к валу двигателя момента инерции нагрузки;

$\omega_r$  – угловая скорость вращения ротора АД;

$p$  – оператор Лапласа.

Тогда, с учетом основного уравнения привода (12) получим полную систему уравнений для его реализации в системе пакетов Matlab/Simulink.

Исходными данными для математического моделирования является частота сети, напряжение сети, момент нагрузки, а также параметры схемы замещения асинхронного двигателя.

Параметры T-образной схемы замещения [4] приведены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры трехфазной асинхронной машины к короткозамкнутым ротором.

Тип двигателя	K21R 132 S6
Номинальная мощность $P_H$ , кВт	2,1
Момент инерции	0,018
Активное сопротивление обмотки статора $r_1$ , Ом	2,8748
Активное сопротивление приведенной обмотки ротора	2,0000
Индуктивное сопротивление обмотки статора $x_1$ , Ом	2,560
Индуктивное сопротивление приведенной обмотки статора	2,337
$x_m$ , Ом	58,993

Выражения вида  $\frac{T_1}{(1 + pT_1)}$  и являются передаточными функциями с оператором Лапласа. Для их реализации пакет Simulink имеет вычислительный блок «transfer function». Аргументом данной функции являются только лишь входной сигнал. В нашей модели переменные  $T_1$  и  $T'$  зависят от угловой скорости вращения поля статора  $\omega_1$ . Для исследования переходный

процессов в АД необходимо будет изменять значения частоты питающего напряжения, что затрудняет использование блок-функций из стандартной библиотеки Simulink. Для решения этой проблемы необходимо реализовать пользовательский блок. Реализовать такой блок можно используя методику моделирования передаточных функций, изложенную в [5].

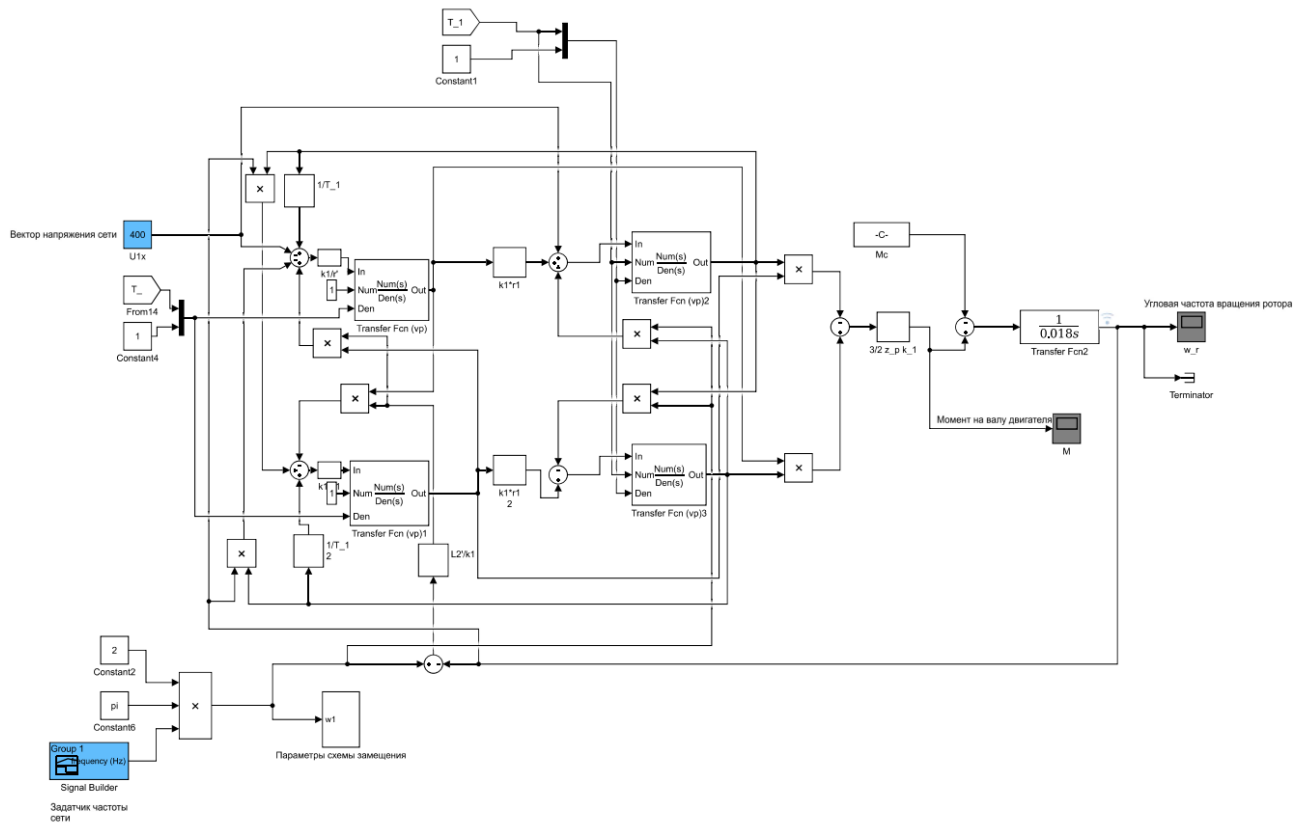


Рис.2. Математическая модель частотного регулирования АД с короткозамкнутым ротором в системе координат вращающиеся синхронно с частотой тока статора

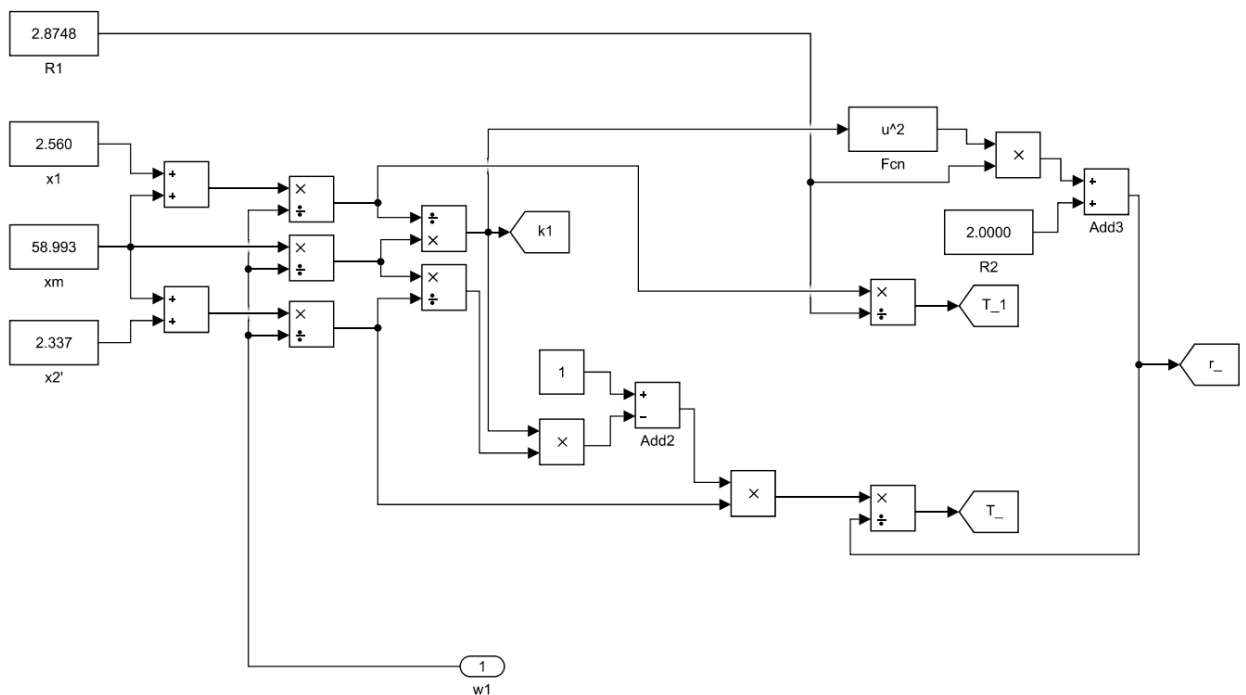


Рис. 3. Вычисление параметров схемы замещения

Выходными характеристиками математической модели являются угловая скорость вращения ротора  $\omega_r$  и электромагнитный момент  $MЭ$ .

Частота сети задается функцией от времени  $f_1 = F(t)$ . Функция  $f_1 = F(t)$  приведена на рис 4.

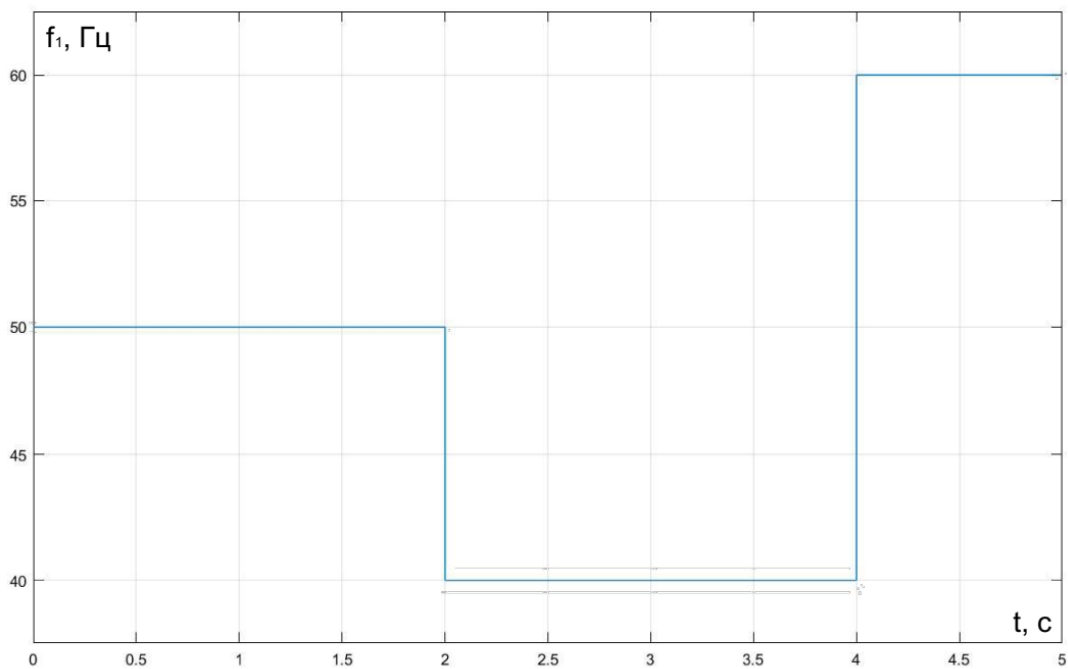


Рис. 4. График функции частоты тока сети от времени

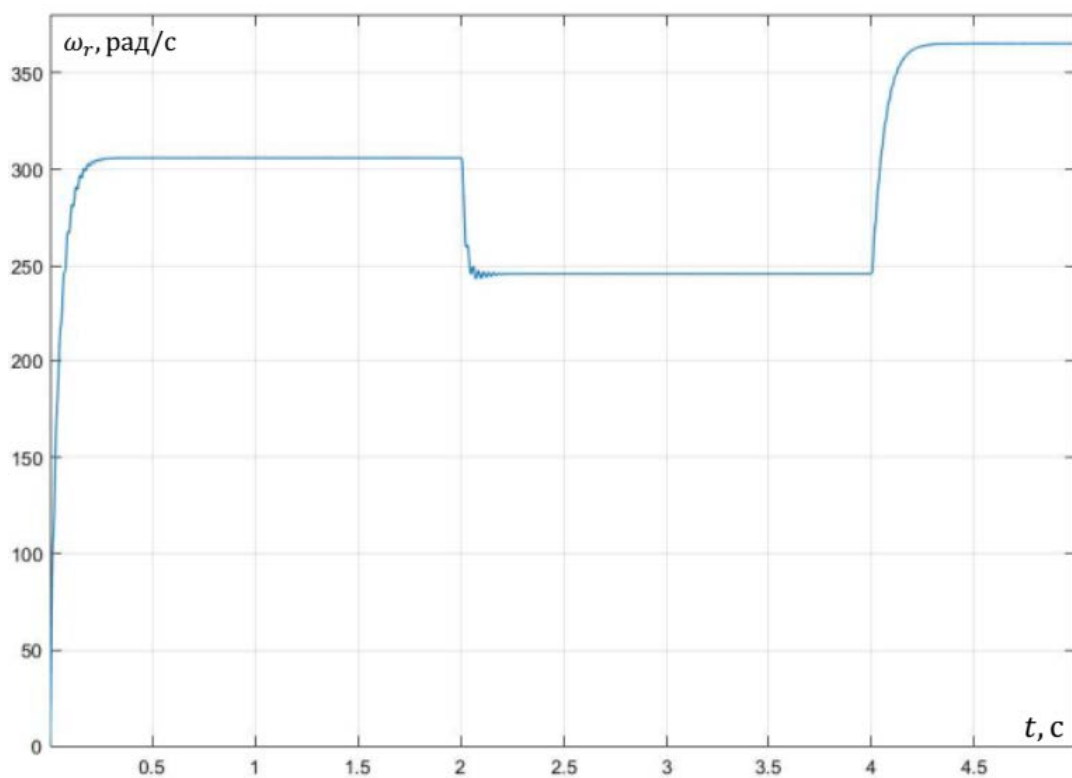


Рис. 5. График угловой скорости вращения ротора

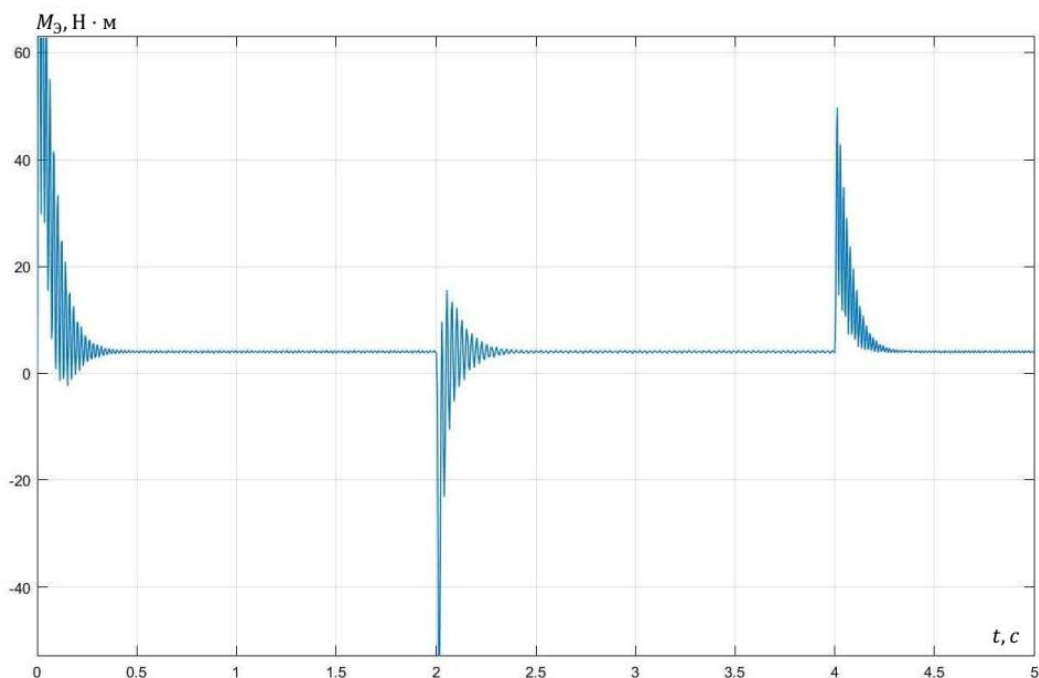


Рис. 6. График изменения момента асинхронной машины

Для исследования асинхронного двигателя также удобна система ортогональных координат, неподвижных относительно статора. Это удобство объясняется тем, что в такой системе все электромагнитные величины, связанные с осью  $\alpha$ ,

равны соответствующим величинам фазы А естественной системы. [8]

Система дифференциальных уравнений асинхронного двигателя в неподвижной системы координат [8]:

$$\begin{aligned} \left( \frac{d\psi_{\alpha s}}{dt} = U_m \cdot \sin \omega_1 t - k_{s1} \psi_{\alpha s} + k_{s2} \psi_{\alpha r}; \right. & @ \frac{d\psi_{\beta s}}{dt} = U_m \cdot \cos \omega_1 t - k_{s1} \psi_{\beta s} + k_{s2} \psi_{\beta r}; @ \frac{d\psi_{\alpha r}}{dt} = \\ & = -k_{r1} \psi_{\alpha r} + k_{r2} \psi_{\alpha s} - \omega_r \psi_{\beta r}; @ \frac{d\psi_{\alpha r}}{dt} = -k_{r1} \psi_{\beta r} + k_{r2} \psi_{\beta s} + \omega \end{aligned}$$

где  $k_{s1}, k_{s2}, k_{r1}, k_{r2}$  определяются из уравнений:

$$\begin{cases} k_{s1} = \frac{R_s \cdot L_r}{L_s L_r - L_m^2}; \\ k_{s2} = \frac{R_s \cdot L_m}{L_s L_r - L_m^2}; \\ k_{r1} = \frac{R_r \cdot L_s}{L_s L_r - L_m^2}; \\ k_{r2} = \frac{R_r \cdot L_m}{L_s L_r - L_m^2}; \end{cases} \quad (13)$$

Система уравнений (13) дает полную математическую модель АД. На основе вышеперечисленных уравнений методом Рунге-Кутты вычислим значения электромагнитного момента  $Mэ$  и угловую скорость вращения ротора  $\omega_r$ . Результаты расчетов получены программой и на основании этих расчетов графики приведены на рис. 9, 10, 11. Подробный алгоритм работы программы приведен на рис. 7, 8.

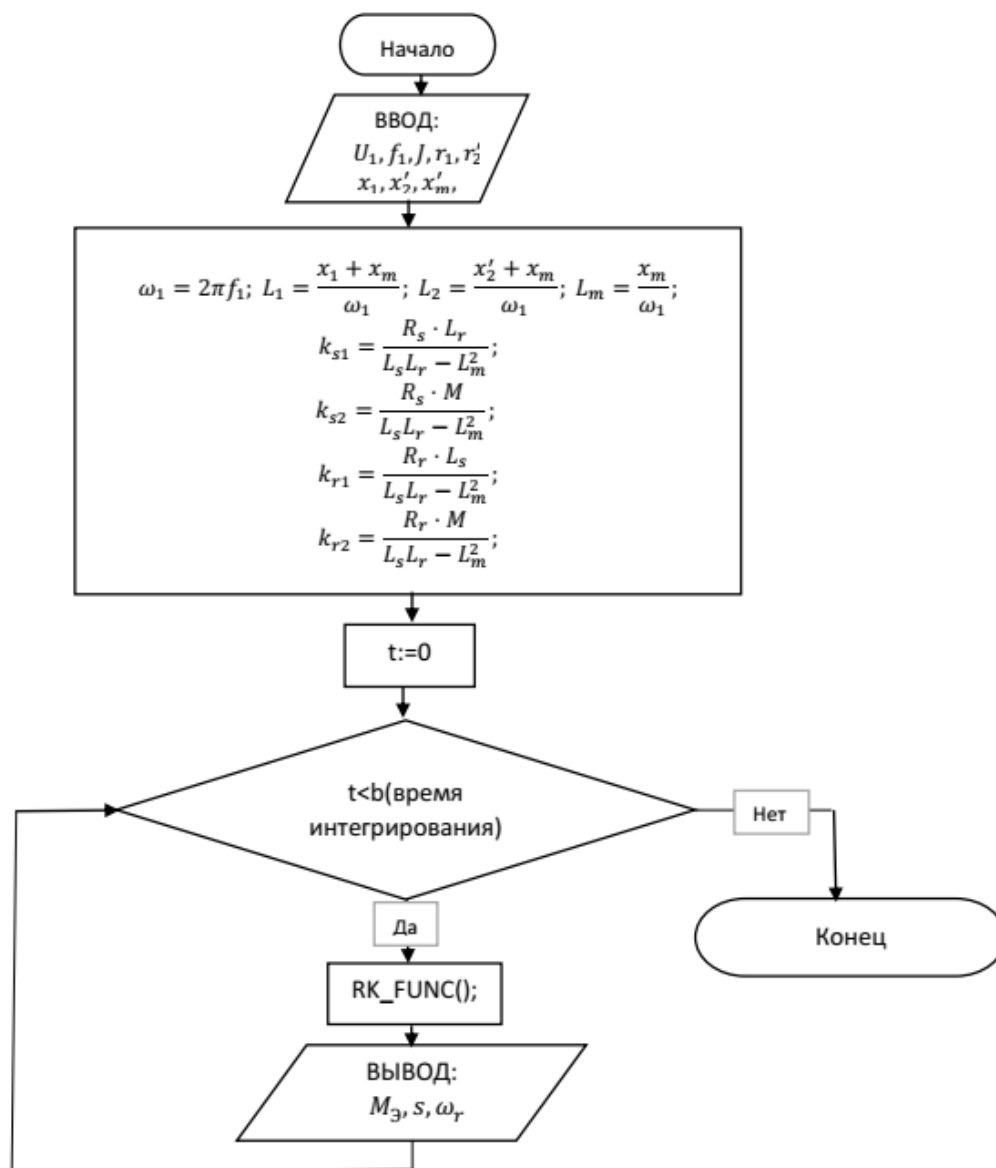


Рис. 7. Блок схема алгоритма работы программы для вычисления параметров асинхронного двигателя при разных значения частоты питающей сети.

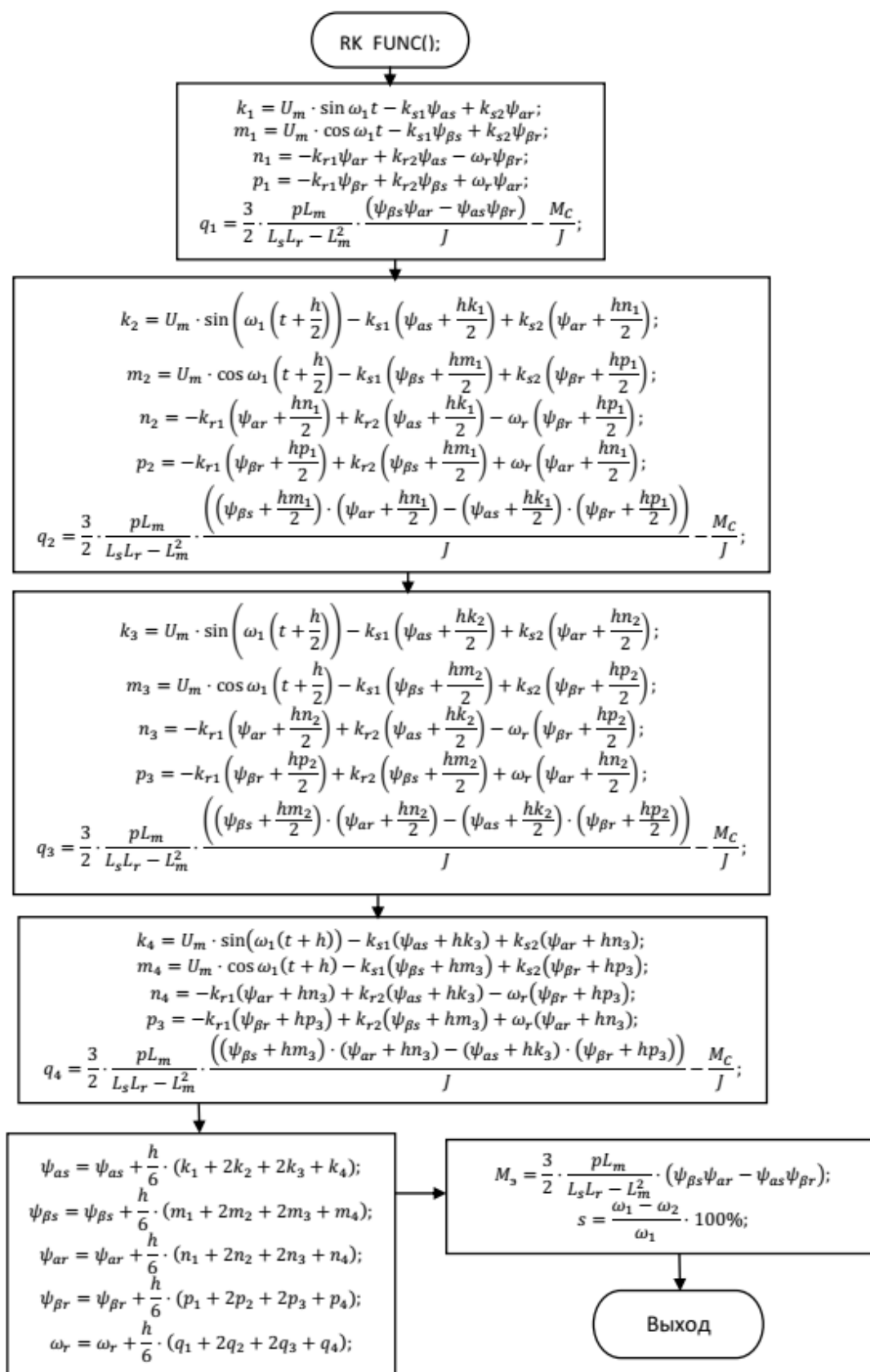


Рис. 8. Функция численного интегрирования.

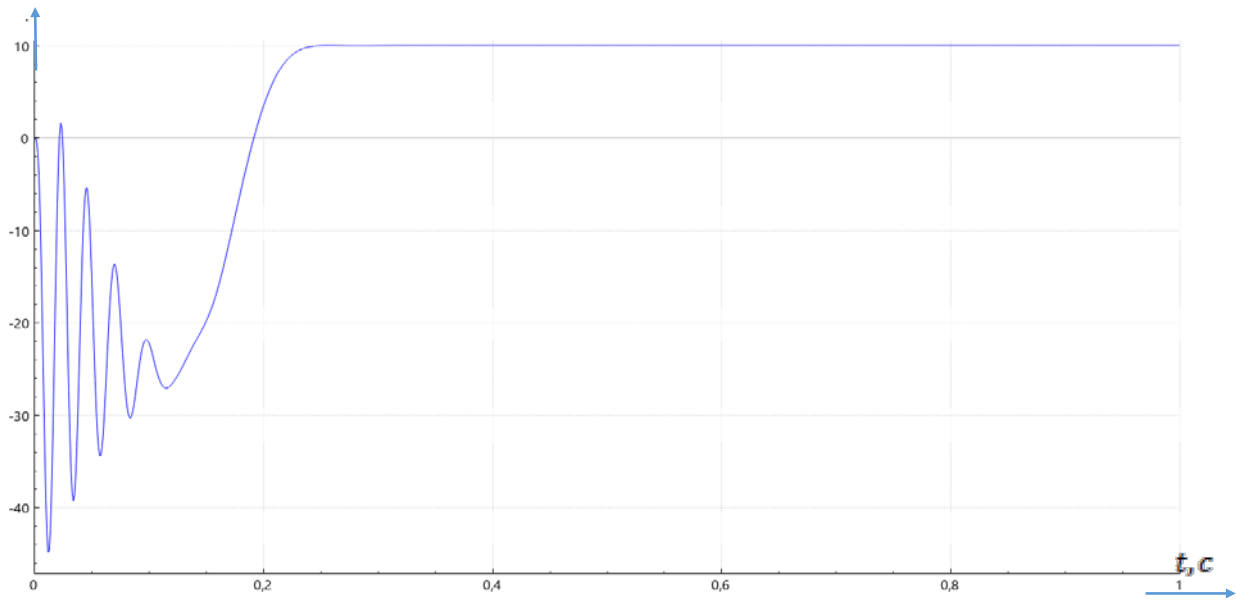


Рис. 9. График изменения момента асинхронной машины при заданной частоте

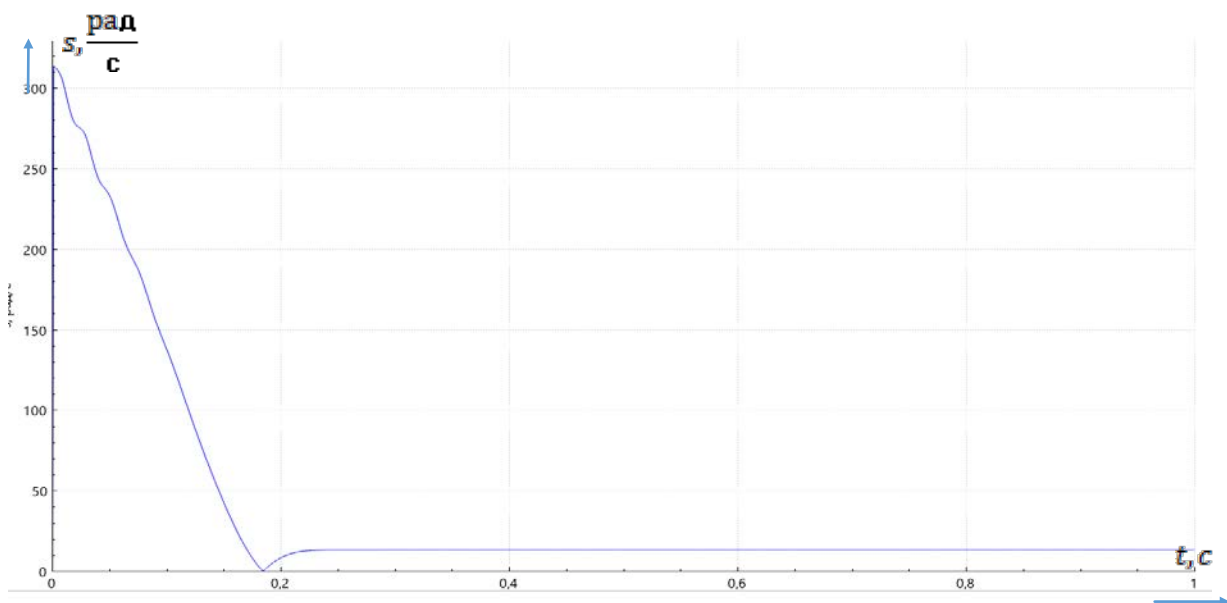


Рис. 10. График изменения абсолютного скольжения асинхронной машины

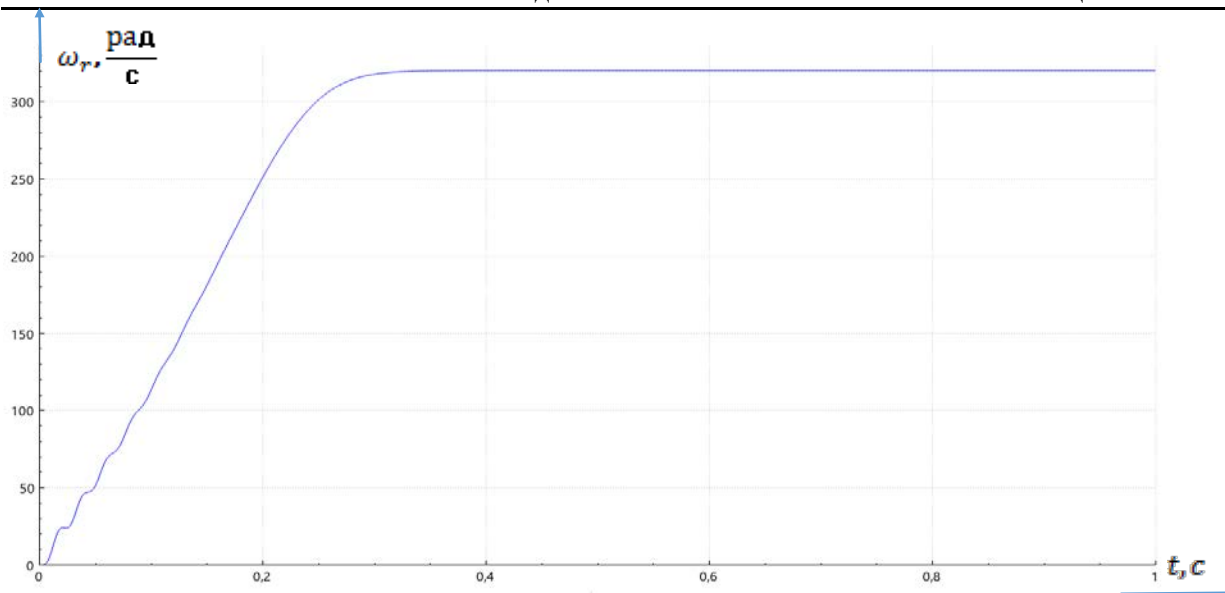


Рис. 11. График изменения угловой скорости вращения ротора асинхронной машины

### ВЫВОД

Построена векторная математическая модель частотного управления асинхронным электродвигателем. Данная модель позволяет моделировать переходные процессы механических характеристик асинхронных двигателей. В отличие от стандартной модели, реализованной в пакете Simulink, данная модель позволяет учитывать изменение параметров схемы замещения при изменении питающей сети. Простая реализация модели позволяет ее применять для исследования поведения асинхронных машин, перед их использованием в тех или иных режимах.

На основе математической модели АД составлена программа для расчета механических характеристик при изменении частоты сети.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) Усольцев А. А. Электрические машины/Учебное пособие. СПб: НИУ ИТМО, 2013, – 416 с.
- 2) Усольцев А. А. Частотное управление асинхронными двигателями/Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2006, – 94 с.
- 3) Калачев Ю. Н. Векторное регулирование (заметки практика) (электронное издание).
- 4) Л. В. Акимов, В. О. Котляров, Д. Г. Литвиненко Динамические параметры асинхронных двигателей частотно-регулируемых электроприводов // Электрические машины и аппараты. - 2011.- №3.- с. 72.
- 5) Е. И. Визгина – Математическая модель

высоковольтного асинхронного двигателя большой мощности // Вестник Чувашского университета. - 2011. №3.- с. 85.

6) Китаев В. Е. Электрические машины. Ч II. Машины переменного тока: Учебное пособие. М.: Высш. школа, 1978.-184 с.

7) Булгаков А. А. Частотное управление асинхронными двигателями. – М.: Энергоиздат, 1982. – 216 с.

8) Шестаков А. В. Исследование переходных процессов в асинхронном двигателе с двухклеточным ротором. Методические указания. Киров: 2003.

9) Лиходеев А. Д., Портнягин Н.Н. Моделирование векторного управления асинхронным двигателем/ ФГОУ ВПО «Камчатский государственный технический университет», г. Петропавловск-Камчатский.

### REFERENCES

- 1) Usoltsev A. A. Electric machines: textbook. SPb: NRU ITMO, 2013, – 416 p.
- 2) Usoltsev A. A. Frequency control of asynchronous motors/ manual. SPb: SPbSU ITMO, 2006, – p. 94
- 3) Kalachev Yu. N. Vector control (practice notes) (electronic edition).
- 4) L. V. Akimov, V. O. Kotlyarov, D. G. Litvinenko Dynamic parameters of asynchronous motors of variable-frequency electric drives // Electrical machinery and apparatus. - 2011.- No. 3.- p. 72.
- 5) E. I. Vizhina – Mathematical model of high-voltage asynchronous motor of high power // Bulletin of the Chuvash University. - 2011. No. 3.- p. 85.

- 6) Kitaev V. E. Electric machines. II. AC machines: tutorial. M.: Higher. school, 1978.-184 p.
- 7) Bulgakov A. A. Frequency control of asynchronous motors. - Moscow: Energoizdat, 1982. - 216 p.
- 8) Shestakov, A. V. the Study of transient processes in the induction motor rotor with two-cell. Methodical instructions. Kirov: 2003.
- 9) Likhodeev, A. D., And Portnyagin, N. N. Modeling vector control of an induction motor / FGOU VPO "the Kamchatka state technical University", city of Petropavlovsk-Kamchatsky.

## ANALYSIS OF THE WORK OF SYNCHRONOUS MOTORS WHEN CHANGING THE FREQUENCY OF THE POWER SUPPLY NETWORK

Bekirov E.A., Anafiev A.I.

**Summary:** the article deals with the problems of the analysis of the mechanical characteristics of an asynchronous motor with frequency control. A mathematical model of vector control in the mathematical package Matlab/Simulink is proposed. On the basis of the mathematical model of the asynchronous motor, an algorithm and a program for finding mechanical characteristics are developed. The graphs of mechanical transients in the asynchronous motor at change of frequency of the feeding network are received.

**Keywords:** asynchronous motor, frequency control, mechanical characteristics, mathematical model, algorithm, Matlab/Simulink.

УДК 621.311.1:621.316.1

## АНАЛИЗ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНЫХ ВЕТРОЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ПОДКЛЮЧАЕМЫХ В ОБЩЮЮ ЭНЕРГОСИСТЕМУ

Бекиров Э. А., Сокут Л. Д., Муровская А. С.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)

ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,

295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181

E-mail: bekirov@inbox., [rucokut36@mail.com](mailto:rucokut36@mail.com), murovskay@mail.ru

**Аннотация.** В работе проанализированы основы и перспективы развития систем регулирования параметров мощных ветроэлектростанций входящих в состав ветроэлектрических станций, подключенных в общую энергосистему. Рассмотрено направление развития систем управления ветроэлектростанциями с учетом роста их мощности и применения различных типов электрогенераторов.

**Ключевые слова:** ветровая электростанция, общая электросеть, ветроэлектростанция, ветротурбина, установка лопасти, электрический генератор

### ВВЕДЕНИЕ

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) с использованием, в первую очередь, ветровых (ВЭС) и солнечных (СЭС) электростанций набирают все большую популярность в мире. Уже к 2040 году некоторые страны готовы полностью перейти на потребление альтернативной энергии. По информации International Renewable Energy Agency (IRENA), альтернативная энергетика побилла очередной рекорд: в 2016 году, в этом сегменте, был введен в строй 161 ГВт новых мощностей. Согласно прогнозу агентства, к 2025 году средняя стоимость производства электроэнергии ВЭС и СЭС может снизиться до 59% в случае реализации благоприятных для отрасли сценариев [1, 2].

ВЭС, наряду с СЭС, сооружаются в более чем в 100 странах мира, а их мощность ежегодно возрастает значительными темпами. Мощность ВЭС с 2007 по 2016 гг. увеличилась в пять раз - до 466 ГВт.

В составе ВЭС используются ветроэлектростанции (ВЭУ), конструкции которых включают в себя многочисленные новейшие достижения в большом перечне инженерных наук: аэродинамике, механике, электротехнике, машиностроении, химии, электронике, системах управления и коммуникации, метрологии.

### КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

ВЭУ (Wind electrical plant) представляет комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений, предназначенный для преобразования энергии ветра в электрическую с помощью системы генерирования электроэнергии (Generator system), состоящей из электромашиного генератора и комплекса устройств (преобразователь, трансформатор, аккумулятор, аппаратура регулирования и т.д.) для подключения к потребителю со стандартными параметрами электроэнергии [3].

Большинство ВЭУ представляют собой горизонтально-осевые ветровые установки, содержащие ветротурбину (ВТ) с лопастями аэродинамического профиля, создающими вращающий момент. Лопасти характеризуются длиной и углом установки лопасти  $\beta$  (Pitch angle of the blade) – углом между хордой профиля лопасти и плоскостью или поверхностью вращения ВТ [3].

ВЭУ содержат две системы регулирования ВТ – систему ориентации по направлению ветра и систему регулирования мощности. Система ориентации представляет комплекс устройств горизонтально-осевой конструкции, предназначенный для установки оси вращения ВТ в соответствии с направлением ветра в определенных пределах в каждый момент времени. Система регулирования мощности ВТ – комплекс устройств, обеспечивающий регулирование в

требуемых пределах мощности, частоты вращения и момента ВТ при изменении скорости ветра в рабочем диапазоне [3].

Для регулирования мощности ВТ используются два способа регулирования: pitch – регулирование и stall – регулирование. Для pitch – регулирования применяются механизмы поворота лопастей ВТ. Основной частью этого устройства является система изменения угла установки лопастей ВТ. При stall – регулировании используется неподвижно закрепленная лопасть, аэродинамические свойства которой обеспечивают стабилизацию мощности при скоростях ветра выше номинальных [4].

ВТ мощных ВЭУ содержит обычно три лопасти и характеризуется диаметром окружности, описываемый наиболее удаленными от оси вращения ВТ лопастями длиной  $L$  и ометаемой площадью  $A$  с диаметром  $D$ , равным  $2L$ .

Важнейшими характеристиками ВТ являются аэродинамические характеристики – безразмерные зависимости момента вращения вала турбины  $M_{ВТ}$ , развиваемой мощности ВТ  $P_{ВТ}$ , коэффициента использования энергии ветра  $C_p$  и других от частоты вращения вала ВТ  $\Omega_{ВТ}$  и от скорости ветра  $V$  (от быстроходности ВТ).

Быстроходность ВТ – (High-speed running factor) равняется отношению окружной скорости конца лопасти  $V_{\Omega}$  к скорости ветра  $V$  [3,4].

$$Z = \frac{V_{\Omega}}{V} = \frac{L\Omega_{ВТ}}{V} \quad (1)$$

Коэффициента использования энергии ветра  $C_p$  равен отношению мощности ВТ  $P_{ВТ}$  к мощности набегающего ветрового потока  $P_0$ .

$$C_p = \frac{P_{ВТ}}{P_0} \quad (2)$$

Теоретически максимальное значение коэффициента мощности  $C_p$  определяется законом Бетца и равно  $16/27 = 0,59$  [4]. На практике ВТ в лучшем случае  $C_p$  достигают значения 0,5. Значение коэффициента  $C_p$  зависит от скорости ветра  $V$ , скорости вращения  $\Omega_{ВТ}$  и угла установки лопастей  $\beta$  и других параметров ВТ.

Величины  $Z$ ,  $C_p$ ,  $\beta$  связаны между собой существенно нелинейной зависимостью, для которой отсутствует единое аналитическое выражение, что затрудняет создание и функционирование системы регулирования мощности ВТ. Для характеристики этой

зависимости на рис. 1 приведены графики изменения  $C_p$  от величины  $Z$  при различных значениях  $\beta$  [4, 5].

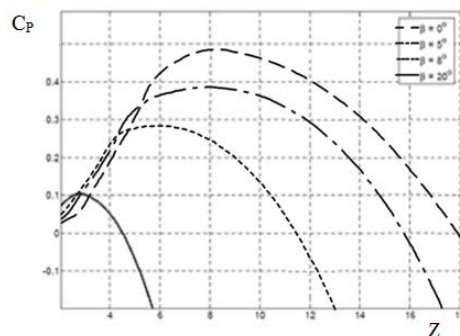


Рис. 1. Зависимость коэффициента мощности  $C_p$  от параметра быстроходности  $Z$  и угла установки лопасти  $\beta$

Как видно из рис. 1, в пределах углов установки до  $5^\circ$  величина  $C_p$  сохраняется постоянной (примерно 0,31), независимо от значений  $Z$  и  $\beta$ . Поскольку начальный угол установки лопастей ВТ  $\beta$  не превышает  $2^\circ - 3^\circ$ , это значение  $C_p = 0,31$  обычно используется для расчета момента ВТ при скорости ветра ниже номинальной до скорости, соответствующей началу регулирования мощности.

При регулировании угла  $\beta$  нелинейно изменяются коэффициент тяговой силы лопасти  $C_D$  и коэффициент подъемной силы  $C_L$  (рис. 2) [4-6]. Причем область практического использования регулирования угла  $\beta$  ограничена значениями  $\beta$  примерно в  $16^\circ$ . При дальнейшем увеличении  $\beta$  нарушается аэродинамическая устойчивость ВТ.

Система генерирования электроэнергии ВЭУ с электрогенератором (ЭГ) любого типа характеризуется несколькими значениями скорости ветра [3]: минимальная скорость ветра, при которой ВТ начинает вращение без нагрузки; минимальная рабочая скорость ветра, при которой обеспечивается вращение ВТ с номинальной частотой  $\Omega_{ВТ}$  при нулевой производительности (холостой ход ЭГ); расчетная скорость ветра, при которой ВТ развивает номинальную мощность  $P_{ВТ}$ ; максимальная рабочая скорость ветра, при которой расчетная прочность ВТ позволяет производить электроэнергию без повреждений.

При разработке систем регулирования ВЭУ скорость ветра  $V$  представляет собой независимую переменную, а параметры  $Z$ ,  $C_p$ ,  $C_D$ ,  $C_L$ ,  $\beta$  являются регулируемыми параметрами.

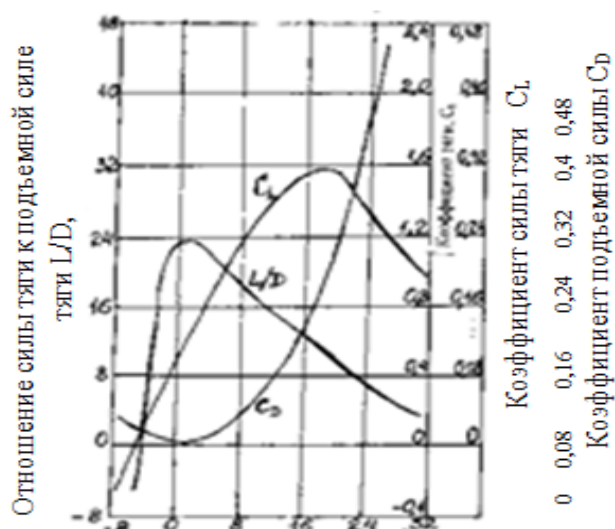


Рис. 2. Коэффициент силы тяги  $C_L$ , коэффициент подъемной силы  $C_D$ , и отношение силы тяги к подъемной силе ( $L/D$ ), для различных значений угла атаки  $\alpha$ , составляющего часть угла  $\beta$

Для характеристики изменения скорости ветра  $V$  используются стандартно принятые значения [3, 4]: среднегодовая скорость ветра за год в конкретной местности, определяемая для заданной высоты над уровнем земной поверхности; повторяемость скоростей ветра в часах или процентах за год в конкретной местности, на определенной высоте  $H$  относительно земной поверхности; распределение скоростей за определенный период времени, аппроксимирующая статистические данные наблюдений; распределение скоростей ветра по Вейбуллу, наиболее часто используемая в ветроэнергетике; частота колебаний (порывов) и величины максимальной скорости ветра, находящиеся в определенной зависимости от средней скорости ветра.

### ХАРАКТЕРИСТИКА ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА В СОСТАВЕ ВЕТРОЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ

При сооружении ВЭС для работы в стандартных трехфазных электросетях переменного тока (ЭС) с частотой 50 Гц, основное развитие получили ВЭУ с трехфазными ЭГ переменного тока [7 - 10].

Синхронные ЭГ редко используют в составе ВЭУ, поскольку в них частота переменного тока  $\omega = 2\pi f$  жестко связана с частотой вращения вала ЭГ, так называемой синхронной частотой  $\Omega_0$  [8]:

$$\Omega_0 = \frac{2\pi \cdot f}{p}, \quad (3)$$

где:  $p$  – число пар полюсов (конструктивный параметр ЭГ),

$f$  – частота переменного тока, Гц.

Для ВЭУ, по сравнению с турбогенераторами традиционных электростанций, трудно обеспечить точную стабилизацию частоты вращения ВГ -  $\Omega_{ВГ}$  при случайном характере колебаний скорости ветра в той мере, чтобы обеспечивать стандартную частоту тока  $f$  с необходимым допуском.

Применение синхронного ЭГ работающего с переменной частотой тока приводит к использованию полупроводниковые преобразователя (ПП) для получения электроэнергии стандартной частоты и напряжения, выполненного на полную мощность ЭГ.

В настоящее время на большинстве ВЭУ применяются трехфазные асинхронные генераторы, поскольку они менее чувствительны к стабильности частоты вращения ЭГ  $\Omega_{ЭГ}$  в пределах допустимых величин скольжения  $s$  [8].

Частота вращения асинхронного ЭГ -  $\Omega_{ЭГ}$  определяется соотношением (4)

$$\Omega_{ЭГ} = \Omega_0 [1 - (-s)] = \Omega_0 (1 + s), \quad (4)$$

где: скольжение  $s$  равно:

$$s = \frac{(\Omega_0 - \Omega_{ЭГ})}{\Omega_0}, \quad (5)$$

Скольжение  $s$  в генераторном режиме асинхронной машины является отрицательной величиной, так как генераторный режим возможен при частоте вращения вала ЭГ  $\Omega_{ЭГ} > \Omega_0$ .

Конструкция трехфазных асинхронных ЭГ имеет несколько исполнений (рис. 3)

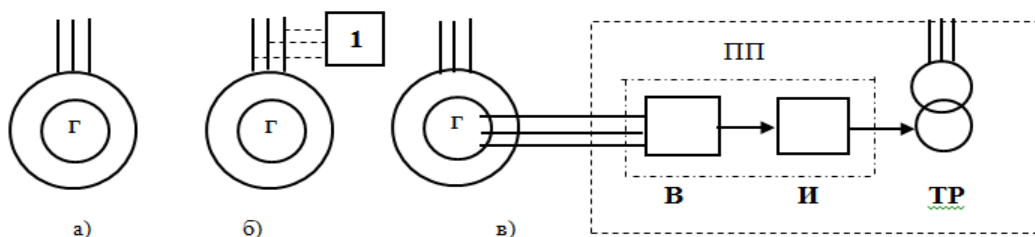


Рис. 3. Обозначение на схеме различных конструктивных исполнений трехфазных асинхронных генераторов: а) трехфазный генератор с короткозамкнутым ротором; б) трехфазный генератор с короткозамкнутым ротором и с устройством 1 для переключения числа пар полюсов обмотки статора; в) трехфазный генератор с фазным ротором, в цепи обмотки ротора которого включен ПП тока в составе: выпрямитель (В), инвертор (И), согласующий ТР

При применении в составе ВЭУ трехфазных асинхронных ЭГ с короткозамкнутым ротором (рис. 3,а) величина скольжения не регулируется. Номинальное скольжение  $s_{ном}$  составляет от (-0,008) до (-0,01). Критическое значение скольжения  $s_{кр}$ , при котором происходит отключение ЭГ от сети, не превышает (-0,015).

В отдельных случаях в ВЭУ используется ЭГ с переключением числа пар полюсов обмотки статора (рис. 3,б). Изменение числа пар полюсов  $p$  приводит к изменению синхронной частоты вращения  $\Omega_0$  согласно (3), что расширяет диапазон рабочих скоростей ветра.

В составе ВЭУ мощностью свыше 1 МВт в настоящее время используются трехфазные асинхронные ЭГ с фазным ротором – рис. 3,в, (асинхронные «генераторы двойного питания» по терминологии в европейских странах) [7–11]. За счет регулирования мощности ЭГ в цепи ротора с помощью ПП величина  $s_{кр}$  увеличивается (по модулю), что значительно расширяет диапазон работы ЭГ при изменении скорости ветра. При этом по цепи ротора ЭГ может сниматься до 100% мощности. Как видно из рис. 3,в, обмотка статора ЭГ подключается непосредственно к сети, а обмотка ротора соединяется с сетью через ПП и согласующий ТР. ПП содержит управляемый либо неуправляемый выпрямитель (В) и трехфазный инвертор (И), работающий на частоте сети. В составе ПП используются различные фильтры для получения заданных параметров напряжения и тока.

В таком ЭГ мощность генератора расщепляется на два потока – электромагнитная мощность  $P_{ст}$ , снимаемая в сеть с зажимов статорной обмотки, и мощность скольжения  $P_s$ , передаваемая в сеть с обмотки ротора через ПП. Величина мощности  $P_{ст}$  не зависит от частоты вращения вала ЭГ -  $\Omega_{ЭГ}$  в пределах допустимых

значений скольжения. Величина мощности  $P_s$  зависит от  $\Omega_{ЭГ}$ , что позволяет регулировать за счет управления ПП величину скольжения  $s$  и, следовательно, частоту вращения  $\Omega_{ЭГ}$  в широком диапазоне. ВТ при этом работает без регулирования угла  $\beta$  ВТ. Более широкий допустимый диапазон изменения скорости вращения вала ВТ при изменении скорости ветра, значительно снижает область регулирования углов  $\beta$ .

В отдельных случаях в составе ВЭУ применяются асинхронизированные ЭГ, индукторные ЭГ, а также ЭГ постоянного тока при малой мощности [8 – 10].

## КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА ВЭУ И ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Кинематическая схема ВЭУ приведена на рис. 4. Поскольку ВТ является тихоходной турбиной с частотой вращения в пределах от 10 до 80 об/мин., а ЭГ, как правило, имеют значительно большую частоту вращения вала, в пределах от 750 до 3000 об/мин., между валами ВТ и ЭГ включается повышающий редуктор с передаточным отношением  $i$ , максимальные значения которого превышают 100 [7].

ВТ, ЭГ, редуктор и аппаратура преобразования тока, управления и защиты размещаются в едином корпусе – гондоле, установленной на башне ВЭУ на высоте  $H$  над поверхностью земли.

Срок службы ВЭУ составляет обычно не менее 15 – 20 лет, а их стоимость колеблется от 1200 до 2000 долларов США за 1 кВт проектной мощности.

Основные тенденции в развитии ВЭУ определяется соотношением (6) [7]:

$$P_{эл} = \frac{1}{2} C_p \rho A V^3 \eta_{BT} \eta_p \eta_{ЭГ}, \quad (6)$$

где:  $C_p$  - аэродинамический коэффициент,  $\rho$  - плотность воздуха,  $A$  - площадь круга, ометаемого лопастями ВТ при вращении,  $V$  - скорость ветра,  $\eta_{BT}$  - КПД ВТ,  $\eta_p$  - КПД редуктора,  $\eta_{ЭГ}$  - КПД ЭГ.

Из приведенной формулы (6) следует, что для увеличения  $P_{ВЭУ}$  имеется несколько возможностей.

1. Увеличения площади  $A$ , равной:

$$A = \pi L^2 = \pi D^2 / 4, \quad (7)$$

где:  $L$  - длина лопасти ВТ,  $D$  - диаметр ротора ВТ.

Реализация этой возможности привела к росту длины лопасти  $L$  за 30 лет от 3 м до 120 м.

2. Увеличение рабочей скорости ветра  $V$ , как в результате правильного выбора района сооружения ВЭС, так и за счет увеличения высоты  $H$  башни ВЭУ, поскольку величина  $V$  растет с высотой башни согласно (8):

$$V_H = V_0 \left( \frac{H}{H_0} \right)^k, \quad (8)$$

где:  $V_H$  - скорость ветра на высоте  $H$  оси ротора ВТ;  $V_0$  - среднесуточная скорость ветра на высоте  $H_0$  метеостанции;  $k$  - коэффициент Хеллмана, зависящий от характеристики поверхности ВЭС.

Значительно расширен диапазон рабочих скоростей ветра. Начальная скорость ВЭУ снизилась от 5 м/с до 2,5 - 3 м/с. Максимальная скорость возросла от 15 м/с до 25 м/с.

В настоящее время практически все выпускаемые ВЭУ имеют ВТ с тремя лопастями с горизонтальной осью вращения, но отличаются схемными решениями системы преобразования и генерирования электрической энергии. Параметры некоторых мощных ВЭУ приведены в табл.1 [7].

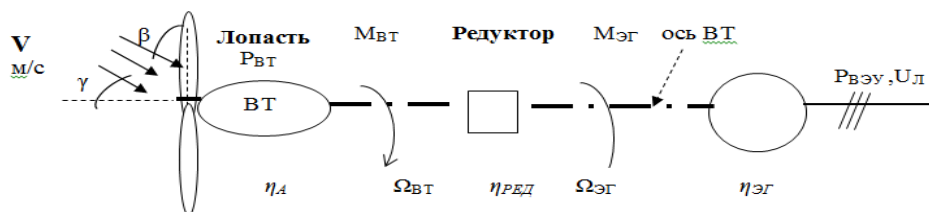


Рис. 4. Кинематическая схема ВЭУ: ВТ – ветротурбина,  $P_{BT}$  – выходная мощность ВТ,  $\alpha$  – угол поворота лопастей ВТ к направлению скорости ветра, ЭГ – электрогенератор,  $P_{ВЭУ}$  – выходная электрическая мощность ВЭУ,  $U_{Л}$  – номинальное линейное напряжение ЭГ,  $\Omega_{BT}$  – частота вращения вала ВТ, р/с;  $M_{BT}$  – момент на валу ВТ, Нм;  $\Omega_{ЭГ}$  – частота вращения вала ЭГ, р/с;  $M_{ЭГ}$  – момент на валу электрогенератора, Нм;  $\eta_A$  – аэродинамический КПД ВТ;  $\eta_{RED}$  – КПД редуктора;  $\eta_{ЭГ}$  – КПД ЭГ

Таблица 1. Параметры некоторых мощных ветроэлектростанций

Тип ВЭУ	VESTAS	ENECON	VESTAS	AN BONUS	NEG Micon
	66/1,75MW	E-661/18,70	V90-3,0 MW	2,3 VW/82	NM 92/2750
Страна	Дания	Германия	Дания	Германия	Германия
Номинальная мощность, МВт	1,75	1,80	3,0	2,30	2,75
Номинальная скорость ветра, м/с	15,0	12,0	15,0	15,0	14,0
Стартовая скорость ветра, м/с	4,0	2,5	4,0	3,0	4,0
Скорость отключения м/с	25,0	28 - 34	25,0	25,0	25,0
Высота башни, м	60 - 78	65 - 114	65 - 105	80 - 100	80 - 104
Диаметр ротора, м	66,0	70,0	90,0	82,4	92,0
Регулирование мощности	pitch	pitch	aktiv- stall	pitch	pitch

Поворот лопасти	Поворот лопасти	Поворот лопасти	Лопасть неподвижна	Поворот лопасти	Поворот лопасти
Тип ЭГ	Асинхронный с фазным ротором	Синхронный	Асинхронный с переключением полюсов 3/2	Асинхронный с фазным ротором	Асинхронный с фазным ротором

## ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЭУ

Все ВЭУ имеют однотипную характеристику регулирования выходной электрической мощности  $P_{ВЭУ}$  от скорости ветра  $V$  – рис. 5.

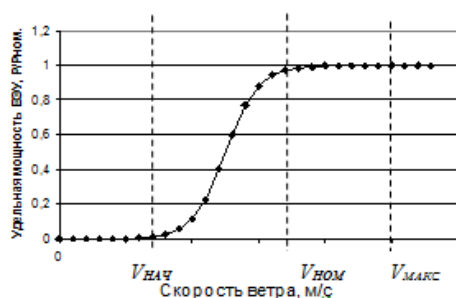


Рис. 5. Однотипная характеристика регулирования мощности ВЭУ при изменении скорости ветра в относительных единицах  $P_{ВЭУ}/P_{ВЭУНОМ} = f(V)$ .  $V_{нач}$  – начальная скорость ветра, при которой включается ЭГ ВЭУ;  $V_{НОМ}$  – расчетная скорость ветра, при которой ЭГ ВЭУ вырабатывает номинальную мощность  $P_{ВЭУНОМ}$ ;  $V_{МАКС}$  – максимально допустимая скорость ветра, при которой производится выработка электроэнергии

Характеристика регулирования ВЭУ (рис. 5) состоит из двух различных участков. Первый участок переменной мощности ВЭУ от начальной  $V_{нач}$  до номинальной  $V_{НОМ}$  скоростей ветра, при постоянном угле  $\beta$ . При относительно небольшой величине  $V_i < V_{НОМ}$  величина  $C_p$  на этом участке мало меняется (рис. 2), момент на валу ВТ растет практически пропорционально росту мощности, а частота вращения ВТ  $\Omega_{ВТ}$  возрастает монотонно, значительно медленнее, чем растет момент ВТ. Участок представляет естественную характеристику ВТ без регулирования угла установки лопастей  $\beta$ . На первом участке работает только система ориентации ВТ по направлению ветра.

Объектом регулирования в системе ориентации является поворотная гондола ВТ с большой постоянной времени – десятки секунд. Регулируемым параметром служит угол  $\gamma$  между осью ВТ и направлением скорости ветра – рис. 4. В системе ориентации применяется

пропорциональный или пропорционально-интегральный регулятор. Исполнительными элементами служат электрические двигатели, обычно до 4. Поворот ВТ происходит в специальных скользящих кольцевых устройствах. Датчиком регулируемого параметра является объединенный датчик скорости и направления ветра в составе ВТ.

Второй участок – участок регулирования мощности ВЭУ в диапазоне скоростей ветра от номинальной  $V_{НОМ}$  до максимальной рабочей  $V_{МАКС}$  – за счет системы регулирования мощности ВЭУ при использовании, как аэродинамических характеристик ВТ, так и характеристик ЭГ.

Изменение аэродинамических характеристик ВТ в случае системы «pitch-регулирования» производится за счет автоматического регулирования угла  $\beta$  и сводится к изменению величины  $C_p$  согласно (2) с изменением угла  $\beta$  [4].

Усредненная регулировочная характеристика  $C_p = f(\beta)$  системы «pitch – регулирования», полученная графически с использованием зависимостей на рис.1, представлена на рис. 6.

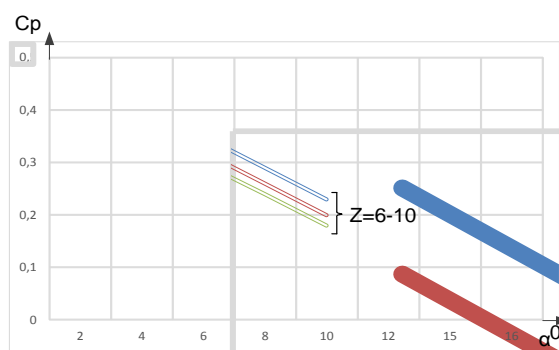


Рис. 6. Усредненная регулировочная характеристика  $C_p = f(\beta)$  системы «pitch – регулирования»

Объектом регулирования являются лопасти ВТ с постоянной времени объекта до 10 секунд. Регулируемым параметром является угол установки  $\beta$  и соответственно угол атаки  $\alpha$ , составляющий часть угла  $\beta$ . В связи с нелинейным характером зависимости  $C_p$  от  $\beta$ , в системе применяется пропорционально - интегральный регулятор с небольшими коэффициентами

усиления и значительными постоянными интегрирования, иногда переменными в процессе регулирования [5]. Исполнительным элементом служит весьма сложный механизм («Pitch – регулятор» с электро- или гидроприводом). Поворот всех трех лопастей производится синхронно.

Датчиком регулируемого параметром служит функциональный преобразователь (ФП), формирующий заданные значения угла  $\beta_{зад}$  при измеренной скорости ветра. В ФП вычисляется отношение скоростей  $V_i$  и  $V_{НОМ}$ , что пропорционально увеличению мощности ВЭУ  $P_i$  по отношению к  $P_{ВЭУ\ НОМ}$  при измеренной скорости ветра  $V_i$ , и определяется необходимая величина  $C_{P_i}$

$$C_{P_i} = \frac{C_{PНОМ} V_{НОМ}^3}{V_i^3}, \quad (9)$$

где:  $C_{P\ НОМ}$  – исходное расчетное значение при  $\beta = 0$  в номинальном режиме ВЭУ.

Заданное значение  $\beta_{зад}$  устанавливается по регулировочной характеристике  $C_P = f_1(\beta)$ .

Как видно из рис. 2 максимальные значения угла  $\beta$  ограничены величиной примерно  $16^\circ$ , что

соответствует снижению  $C_P$  до 0,13. При таком ограничении для значений  $V_{МАКС} = 25$  м/с, величина  $V_{НОМ}$  составляет, с учетом нелинейных зависимостей  $Z, C_P, \beta$ , от 14 до 16 м/с.

Повторение скоростей ветра в диапазоне 14 – 16 м/с при среднегодовых скоростях ветра, характерных для большинства территорий, составляют наибольшую долю от общего числа часов реализации скоростей ветра – табл. 2.

Выбор больших значений  $V_{НОМ}$  (табл. 2) приводит к неэффективному использованию установленной мощности ЭГ практически в большинстве часов повторения скоростей ветра. Вместе с малой величиной коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) ВЭУ в целом из-за случайного характера параметров ветра, такой выбор снижает показатели регулирования мощности за счет характеристик ВТ.

Кроме того, имеющийся опыт эксплуатации ВЭС [11], показывает низкую надежность механизмов в системе «pitch – регулирования», на которую приходится до 70% отказов оборудования ВЭУ. В современных мощных ВЭУ предпочтение отдается регулированию ЭГ – табл.1.

Таблица 2. Значения среднегодовых скоростей ветра и соответствующие значения скорости ветра от 14 до 25 м/с

Скорость ветра, $V_i$ , м/с	Среднегодовая скорость ветра, м/с						
	5	6	7	8	9	10	11
	Количество часов $N_{V_i}$ и % в году для среднегодовых значений скоростей ветра из общего числа часов 8760 в диапазоне от 1 до 25 м/с						
14	25/0,28%	98/1,12%	205/2,34%	311/3,55%	392/4,47%	444/5,07%	470/5,36%
15	11/0,12%	57/0,65%	141/1,60%	237/2,70%	321/3,66%	386/4,40%	421/4,80%
16	5/0,006%	32/0,35%	93/1,06%	175/2,0%	257/2,93%	324/3,70%	371/4,23%
17-25	3/0,03%	33/0,37%	146/1,67%	375/4,28%	712/8,12%	1005/11,47%	1512/17,26%

### ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

На рис. 7 приведена подробная схема включения статорных и роторных обмоток трехфазного асинхронного ЭГ с фазным ротором и ПП в цепи роторной обмотки.

Обычно диапазон регулирования скольжения  $s$  составляет от 0 (холостой ход при включении ЭГ) до  $(-1,0)$ , а рабочая частота вращения ЭГ при этом изменяется от  $\Omega_0$  до  $2\Omega_0$  [8].

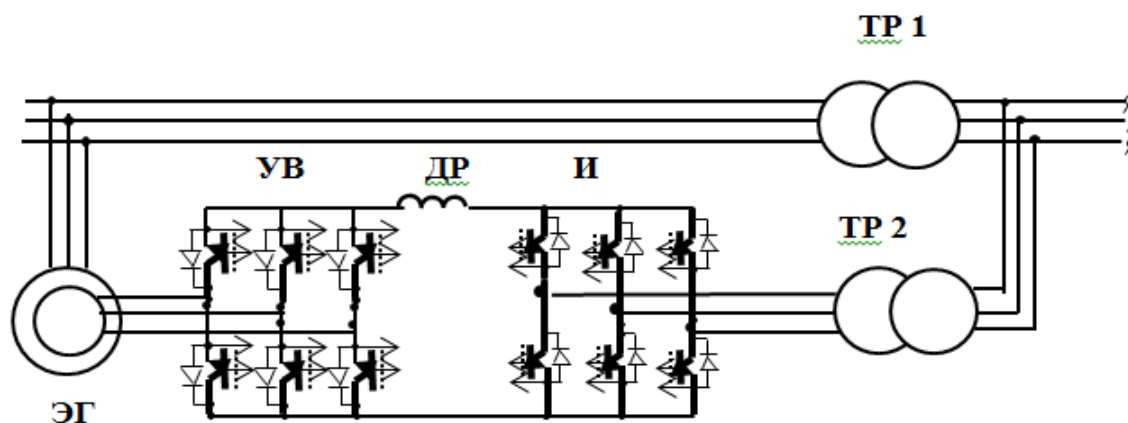


Рис. 7. Схема включения статорных и роторных обмоток трехфазного асинхронного генератора с фазным ротором и полупроводниковым преобразователем в цепи роторной обмотки

Такое расширение диапазона рабочей частоты вращения ЭГ значительно облегчает задачу регулирования частоты вращения ВТ при изменении скорости ветра, поскольку в диапазоне частоты вращения ЭГ, соответствующим значениям от  $\Omega_0$  до  $2 \Omega_0$  ВЭУ работает без регулирования угла установки лопастей  $\beta$  за счет изменения характеристик ЭГ.

Например, в ВЭУ типа Gameza (Испания) изменение частоты вращения ЭГ составляет от 1000 до 2000 об/мин. за счет регулирования ЭГ [7].

В составе ПП (рис. 7) применяются полностью управляемые полупроводниковые элементы - IGBT-модули. В зависимости от выбранного алгоритма управления используются две схемы:

- неуправляемый выпрямитель в цепи роторной обмотки ЭГ, инвертор, работающий на частоте сети с переменным углом регулирования  $\beta$ , и согласующий ТР (ТР2, рис.11);

- управляемый выпрямитель в цепи роторной обмотки с переменным углом регулирования  $\alpha$ , инвертор, работающий на частоте сети с практически постоянным углом регулирования  $\beta$ , и согласующий ТР (ТР2, рис.7);

Для выпрямителя в схеме рис.9 соотношение между средним значением выходного напряжения постоянного тока  $U_B$  и действующим значением входного фазного напряжения роторной обмотки  $U_{2\phi Si}$ , равно [12]:

$$U_B = 2,34 U_{2\phi Si} \cos \alpha - \Delta U_\gamma (I_B) - \Delta U_{IGBT}, \quad (10)$$

Для инвертора соотношение между средним значением входного напряжения постоянного тока  $U_B$  и действующим значением выходного фазного напряжения  $U_{1\phi}$  согласующего ТР равно:

$$U_B = 2,34 U_{1\phi} \cos \beta + \Delta U_\gamma (I_B) + \Delta U_{IGBT}, \quad (11)$$

где:  $\alpha$  – угол включения IGBT-модулей УВ;  $\beta$  – угол включения IGBT-модулей И;  $\gamma$  – угол коммутации IGBT-модулей;  $I_B$  – среднее значение постоянного тока;  $\Delta U_{IGBT}$  – падение напряжения на IGBT-модулях за счет процесса коммутации тока  $I_B$ .

При коммутации тока значения угла  $\gamma$  сравнительно невелики из-за малой индуктивности цепи коммутации, поэтому для предварительных расчетов можно принимать величины  $\Delta U_\gamma (I_B) = 0$ ,  $\Delta U_\gamma (I_H) = 0$ . Величина  $\Delta U_{IGBT}$  для схемы ПП составляет при номинальном токе 3...4 В, поэтому величиной  $\Delta U_{IGBT}$  при средней реализуемой мощности можно пренебречь, приняв  $\Delta U_{IGBT} = 0$ . Для учета потерь напряжения при работе УВ и И при последовательном преобразовании рода тока общую потерю напряжения по (10) и (11) можно принять равной 10%.

Учитывая изменение в достаточно широком диапазоне величины напряжения  $U_{2\phi Si}$  в одной фазе роторной обмотки ЭГ, целесообразно использовать алгоритм регулирования угла  $\alpha$  УВ с целью поддержания неизменной величины выпрямленного напряжения  $U_B$  на выходе УВ при различных значениях  $f_{2Si}$  и  $U_{2\phi Si}$ .

В этом случае при постоянной величине напряжения  $U_B$  величина  $\beta$  угла регулирования режима работы и меняется незначительно, что предпочтительно с точки зрения высших гармоник составе выходного напряжения инвертора.

Увеличение угла  $\alpha$  регулирования режима работы выпрямителя ведет к росту пульсаций напряжения  $U_B$ , для снижения которых применяется дроссель ДР (рис.7).

Значения  $\alpha=0$  будут соответствовать минимальному значению  $U_{2\Phi Si}$  при начальном значении скольжения  $f_{2S НАЧ}$ , [8, 13].

Для оптимального выбора величины напряжения  $U_{2\Phi 0}$  роторной обмотки ЭГ, либо при использовании стандартных ЭГ, общая потеря напряжения при использовании ПП в цепи

ротора ЭГ компенсируется использованием согласующего ТР (ТР2 на рис.11). Выходное напряжение  $U_{\Phi ТР2}$  ТР2 принимается равным

стандартному напряжению сети аналогично напряжению ТР1 в цепи статорной обмотки ЭГ.

### ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНЫХ ВЕТРОЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

На рис. 8 приведена блок-схема с обозначением датчиков и регуляторов в системах автоматического регулирования (САР) ВЭУ.

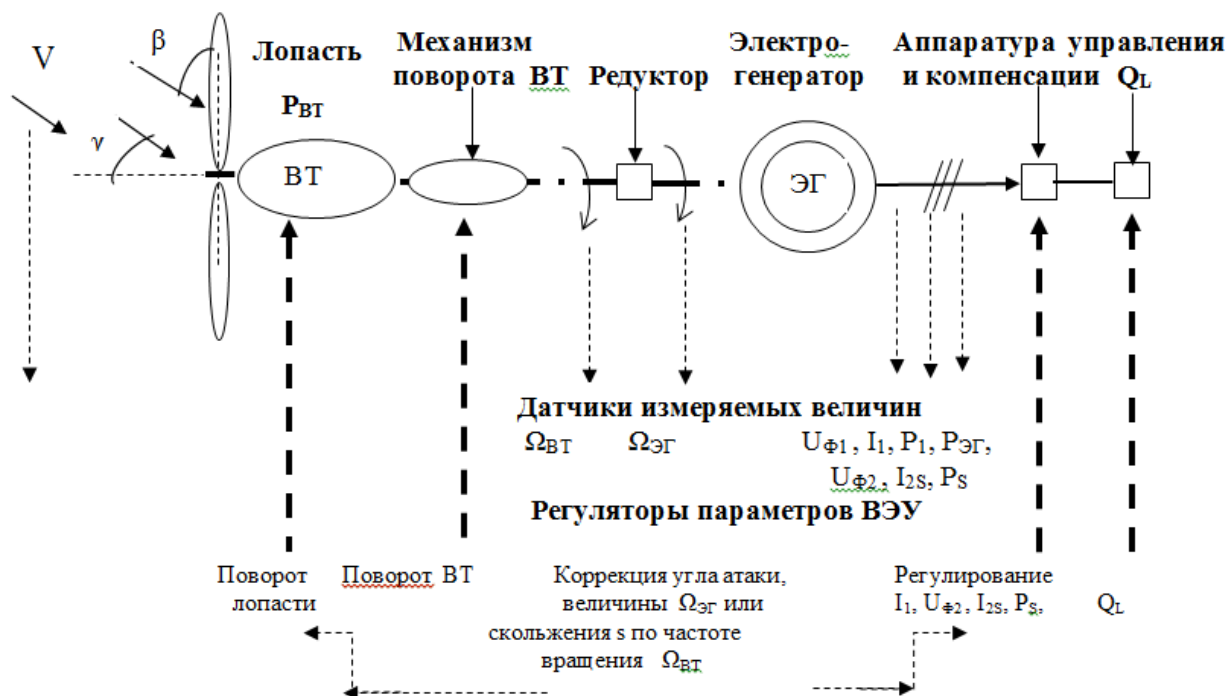


Рис. 8. Блок-схема использования датчиков и регуляторов в системах автоматического регулирования ВЭУ

В составе ВЭУ во всех случаях регулирования применяются датчики скорости и направления ветра  $V$ , входящие в состав гондолы или размещенные отдельно. Также присутствуют датчики частоты вращения вала ВТ  $\Omega_{ВТ}$  и частоты вращения вала ЭГ  $\Omega_{ЭГ}$ .

Датчики электрических параметров ЭГ зависят от типа ЭГ. При использовании синхронного ЭГ применяются датчики напряжения, силы тока и мощности статорной обмотки и обмотки возбуждения. Для асинхронного короткозамкнутого ЭГ необходимы датчики напряжения, силы тока и мощности статорной обмотки, а также датчик реактивной мощности или датчик  $\cos \phi$ . В случае применения асинхронного ЭГ с фазным ротором датчики напряжения, силы тока и мощности статорной обмотки дополняются датчиками параметров роторной обмотки и величины скольжения.

Наличие тех или иных регуляторов режима работы ВЭУ зависит от состава оборудования и принятой системы регулирования мощности при изменении скорости ветра.

Наиболее часто в САР ВЭУ реализуются регуляторы типа [13]:

- пропорциональный  $Y(t) = K_1 X(t)$ ;
- пропорционально-интегральный

$$Y(t) = K_1 X(t) + K_2 1/T_1 \int_0^t X(t) dt ;$$

- пропорционально-интегрально-дифференциальный

$$Y(t) = K_1 X(t) + K_2 1/T_1 \int_0^t X(t) dt + K_3 T_2 \frac{dX(t)}{dt} .$$

Широко распространены программные методы регулирования выходных величин  $Y(t)$  по

временной программе, оптимизационные и самонастраивающиеся системы. Отображение всех регулируемых величин производится на экране монитора центрального компьютера.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Электронный ресурс: [http://www.ruscable.ru/article/Perspektivy\\_razvitiya\\_mirovoj\\_elektroenergetiki\\_1/](http://www.ruscable.ru/article/Perspektivy_razvitiya_mirovoj_elektroenergetiki_1/) Перспективы развития мировой электроэнергетики до 2035 года.
2. Электронный ресурс. // [http://www.ewa.org/051215\\_Grid\\_report.pdf](http://www.ewa.org/051215_Grid_report.pdf)/Мировой опыт интеграции ветропарков значительной мощности в энергосистему.
3. ГОСТ Р 51237-98. Нетрадиционная энергетика – ветроэнергетика. Утвержден и введен в действие постановлением Госстандарта России от 25 декабря 1998 г. N 460 ст. – М.: Изд. стандартов, 1999. – 14 с.
4. Твайдел Дж., Уайлер А. Возобновляемые источники энергии.– М.: Энергоатомиздат, 1990.
5. Ескендир Ж.Б. Управление поворотом лопастей ветрогенератора переменной скорости с целью ограничения мощности и уменьшения динамических нагрузок // Современные научные исследования и инновации. 2013.- № 3 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2013/03/23161>.
6. Дудников В.С. Поворот лопастей как элемент системы стабилизации частоты вращения ветроколес с горизонтальной осью вращения. / В.С. Дудников // Материалы четвертой международной конференции "Наука и образование 2001". Том 13, Технические науки. – Днепропетровск: Наука и образование, 2001. – С. 26–27.
7. Безруких П.П. Ветроэнергетика (справочное и методическое пособие). – М.: «Энергия», 2010. – 320 с.
8. Вольдек А.И. Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. учебн. заведений. – 3-е изд., перераб. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с., ил.
9. Акулиничев Н.М., Сокут Л.Д. Типы электрических генераторов и схемные решения ветроэлектростанций // «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017»: материалы научно-практической конференции с международным участием, Севастополь 11–17 сентября 2017 г. / Севастополь: СевГУ, 2017 – 300 с., С. 40 - 47.

10. Неисчерпаемая энергия. Кн.1.Ветроэлектрогенераторы / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев.– Учебник.– Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т, Севастополь: Севаст. нац.техн.ун-т, 2003.– 400 с.

11. Бекиров Э.А., Даниленко А.И. Оценка показателей надежности эксплуатации ветроэлектрического оборудования промышленной ветровой электростанции // Материалы Третьего международного форума «Возобновляемая энергетика: пути повышения энергетической и экономической эффективности»/ – 17-19 ноября, Крым, г. Ялта, 2015. – С. 69-80.

12. Гельман М.В. Преобразовательная техника: учебное пособие / М.В. Гельман, М.М. Дудкин, К.А. Преображенский / Челябинск: Издательский центр: ЮУрГУ, 2009. – 425 с.

13. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы системы. М.: «Машиностроение», 1973, 606 с.

### REFERENCES

1. Electronic resource: [http://www.ruscable.ru/article/Perspektivy\\_razvitiya\\_mirovoj\\_elektroenergetiki\\_1/](http://www.ruscable.ru/article/Perspektivy_razvitiya_mirovoj_elektroenergetiki_1/) world electric power industry development Prospects till 2035.
2. Electronic resource. // [http://www.ewa.org/051215\\_Grid\\_report.pdf](http://www.ewa.org/051215_Grid_report.pdf)/World experience of integration of wind parks of considerable capacity into the power system.
3. GOST R 51237-98. Non-traditional energy-wind power. Approved and put into effect by the resolution of Gosstandart of Russia from December 25, 1998 N 460 St. – М.: Izd. standards, 1999. - 14 p.
4. Tidel George., Wyler A. Renewable energy.- Moscow: Energoatomizdat, 1990.
5. Eskendir J. B. control of the rotation of the blades of the wind turbine variable speed to limit power and reduce dynamic loads // Modern scientific researches and innovations. 2013.- №3 [Electronic resource]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2013/03/23161>.
6. Dudnikov S. V. the rotation of the blades as part of the system of stabilisation of frequency of rotation of the propeller with a horizontal axis of rotation. / V. S. Dudnikov // Proceedings of the fourth international conference "Science and education 2001". Volume 13, Technical Sciences. - Dnepropetrovsk: Science and education, 2001. – S. 26-27.

7. Bezrukikh p. P. Wind energy (reference and technical manual). - Moscow: "Energy", 2010. - 320 p.
8. Waldek A. I. of the Electric machine. A textbook for students in higher. tech. educational institutions'. 3rd ed., pererab – - L.: Energy, 1978. - 832 p., ill.
9. A] N.M. Sokut L. D. Types of electrical generators and circuits metroelektrotrans // "Environmental, industrial and energy security 2017": materials of scientific-practical conference with international participation, Sevastopol 11-17 September 2017 / Sebastopol: Sevgi, 2017 – 300 S. S. 40 - 47.
10. Inexhaustible energy. kN.1.Wind Power / Vs Krivtsov, Am Oleynikov, O. Yakovlev.– Textbook.- Kharkiv: National. aerospace. UN-t " Kharkov.
11. Bekirov E. A., Danilenko A. I. estimation of indicators of reliability of operation of wind power equipment of industrial wind power plant / / Proceedings of the Third international forum "Renewable energy: ways to increase energy and economic efficiency" / – November 17-19, Crimea, Yalta, 2015. - P. 69-80.
12. Gelman M. V. Converter engineering: textbook / M. V. Gelman, M. Dudkin, K. A. Preobrazhensky / Chelyabinsk: Publishing center of Ural state University, 2009. - 425 p.
13. Ivashchenko N. H. Automatic adjustment. Theory and elements of the system. M.: "mechanical engineering", 1973, 606 p.

## ANALYSIS OF SYSTEMS OF REGULATION OF POWERFUL WIND POWER PLANTS INSTALLATIONS CONNECTED TO A GENERAL ENERGY SYSTEM

Bekirov E.A., Sokut L.D., Murovskaya A.S.

**Summary** In work the bases and prospects of development of systems of regulation of parametres of powerful wind power plants entering into structure of the wind-electric stations connected in the general power system are analyzed. The direction of development of control systems for wind power plants taking into account the growth of their power and application of various types of electric generators is considered

**Keywords:** wind power station, common electrical network, wind power plant, wind turbine, blade installation, electric generator.



УДК 699.86

ЭКОНОМИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ И ПАССИВНЫЕ СИСТЕМЫ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Соловьев А.К.

ФГБОУ НИУ МГСУ, кафедра Проектирования зданий,

129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26;

kafedraarxitektury@yandex.ru

**Аннотация** Современность требует всё больших затрат энергии во всех областях жизнедеятельности. При этом в промышленном производстве потребность в энергетических ресурсах практически сравнялась с потребностью в бытовой сфере, то есть при эксплуатации зданий. Рассматриваются результаты исследований, проводившихся в НИУ МГСУ в этой области. Указывается на недостаток чёткой классификации «пассивных» и «активных» приёмов и систем использования солнечной энергии, а также «активных» и «пассивных» домов. Приводятся предложения по такой классификации и определениям. Снижение теплотерь здания достигается за счет повышения тепловой защиты ограждающих конструкций, а также за счет применения таких объемно-планировочных решений, которые уменьшают теплопотери и используют солнечную энергию для отопления и охлаждения зданий. Рассматриваются такие решения, как атриумы, стены Тромба-Мишеля, пристроенные теплицы-зимние сады, глубокие лоджии. Приводятся результаты исследований на конкретном объекте, показывающие тепловой баланс помещения в здании с пассивной системой использования солнечной энергии. Отмечается, что максимальный эффект пассивных систем использования солнечной энергии достигается в районах с максимальным количеством солнечных дней в году независимо от температуры воздуха в зимний период. Особое внимание уделяется экономии энергии на электрическое освещение. Приводятся основные положения методики определения энергетических затрат на устройство систем естественного освещения зданий. При этом учитываются затраты энергии на восполнение теплотерь через остекление, а также на ликвидацию теплопотуплений через светопрёмы в летнее время за счёт вентиляции и кондиционирования воздуха. Указывается, что естественное освещение помещений при непостоянном пребывании людей в них с помощью полых трубчатых световодов является эффективным, так как теплопотери и теплопоступления через такие системы – минимальны.

**Ключевые слова:** Экономия энергии, «пассивные» и «активные» системы использования солнечной энергии, Атриумы, зимние сады, стены Тромба-Мишеля, световоды, совмещенное освещение, тепловой баланс.

**ВВЕДЕНИЕ**

Большую нагрузку на окружающую среду создаёт сжигание топлива:

$C+O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O \quad H_2 \rightarrow CO_2$

$S+O_2 \rightarrow SO_2 + H_2O \quad H_2 \rightarrow SO_3 ;$

$S+O_3 \rightarrow SO_3 + H_2O \quad H_2 \rightarrow SO_4 ;$

$N+O_2 \rightarrow NO_2 + H_2O \quad H_2 \rightarrow NO_3 ;$

Образование в облаках больших объёмов кислоты приводит к кислотным дождям, разрушающим материалы и плодородие почвы. Это – экологический фактор, зависящий от интенсивности выбросов продуктов горения.

Другим важным фактором является экономика. Объекты потребления энергии – промышленность 30% и жилые и другие гражданские здания – 70%. В разных странах это соотношение может быть различным. Стоимость энергии постоянно растёт.

Строительство энергоэффективных зданий во всём мире становится основной тенденцией. Снижение энергетических затрат на эксплуатацию зданий значительно снижает экологическую нагрузку на окружающую среду и повышает экономичность эксплуатации зданий. В Европе, Канаде, Австралии и США государство стало стимулировать строительство энергоэкономичных зданий. И это принесло свои плоды. Люди на собственном опыте поняли, что использовать

возобновляемые источники энергии и строить хорошо утепленные здания, а также применять автоматическое регулирование отопления и освещения – это выгодно. Сейчас передвигаясь по дорогам в этих странах на автомобиле можно видеть на индивидуальных домах и на многоэтажных зданиях системы использования солнечной энергии (солнечные коллекторы, солнечные батареи фотоэлементов – «Фотовольтайк», системы горячего солнечного водоснабжения). Первоначальные капитальные вложения в повышение энергетической эффективности зданий через некоторое время окупаются, а потом начинают приносить прибыль.

В России также издаются законы о повышении энергоэффективности, которые пока не работают [1].

## АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ

Повышение энергоэкономичности зданий может быть достигнуто разными способами:

1. Теплозащита (конструктивное решение здания).
2. Объёмно-планировочное решение здания (форма здания, соотношение полезной площади и площади наружных ограждающих конструкций).
3. Ориентация зданий.
4. Применение пассивных систем использования солнечной энергии для отопления и охлаждения зданий.
5. Применение активных систем использования возобновляемых источников энергии, т.е. специального инженерного оборудования (ветряки, солнечные батареи из фотоэлементов «фотовольтайк», гелиоколлекторы с циркуляцией теплоносителя, системы горячего солнечного водоснабжения, теплонасосы).
6. Современные окна. Повышение сопротивления теплопередаче, выбор оптимальных размеров в зависимости от теплового и светового климата местности.
7. Применение современных систем электрического освещения.
8. Применение автоматического регулирования искусственного освещения в зависимости от присутствия людей и от динамики наружного естественного света.

Некоторые из этих способов зависят только от архитектурно-строительного решения здания. К ним относятся 1-е, 2-е, 3-е, 4-е и 6-е. Остальные средства требуют применения инженерного оборудования. Первые относятся к «пассивным»

средствам. Остальные можно отнести к активным системам повышения энергетической эффективности зданий. В соответствии с этим «пассивные дома» - такие, где используются архитектурно-строительные средства повышения их энергетической эффективности. Конечно, к этим средствам могут добавляться и такие, где используются элементы инженерного оборудования, то есть активные системы. Это может значительно повысить их энергетическую эффективность. Но это значительно увеличит и капитальные затраты при строительстве.

Рассмотрим «пассивные средства» отдельно:

Тепловая защита зданий в России регулируется одноименным СНиПом 23-02-2003, который устанавливает требования к тепловой защите зданий в целях экономии энергии при обеспечении санитарно-гигиенических и оптимальных параметров микроклимата помещений и долговечности ограждающих конструкций зданий и сооружений.

Нормами установлены три показателя тепловой защиты здания:

а) приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций здания, установленное исходя из соображений экономии энергии;

б) санитарно-гигиенический показатель, включающий температурный перепад между температурами внутреннего воздуха и на поверхности ограждающих конструкций и температуру на внутренней поверхности, которая должна быть выше точки росы и не создавать впечатление «сквозняка» при нахождении вблизи;

в) удельный расход тепловой энергии на отопление здания, позволяющий варьировать величинами теплозащитных свойств различных видов ограждающих конструкций зданий с учетом объёмно-планировочных решений здания и выбора систем поддержания микроклимата для достижения нормируемого значения этого показателя.

Требования тепловой защиты будут выполнены, если в жилых и общественных зданиях будут соблюдены требования показателей «а» и «б» либо «б» и «в». В зданиях производственного назначения необходимо соблюдать требования показателей «а» и «б», хотя заведомо ясно, что выполнение показателя «а» ведёт за собой автоматическое выполнение показателя «б».

Согласно п.5.2 СНиПа следует составлять энергетический паспорт здания.

Как правило, выполнение современных норм теплозащиты не позволяет устраивать однородные стены. Так, если до 1993г. было обычным делом применять стены из кирпича толщиной в 2 кирпича (520 мм), то для выполнения требований современных норм потребовалось бы устройство стены из кирпича толщиной 1.2м. Поэтому требуется устройство слоистых конструкций стен с применением утеплителя. А это при неправильной конструкции может привести к намоканию стен.

Летом основной критерий – теплоустойчивость, т.е. ограничение амплитуды колебаний температуры на внутренней поверхности конструкции для предотвращения «барачного эффекта». Это особенно важно при проектировании легких ограждающих конструкций, особенно утепленных крыш в мансардах.

Московские нормы МГСН 2.01-94 «Энергосбережение в зданиях» предъявляют требования к теплозащите здания в целом. Нормируется приведенный коэффициент теплопередачи здания как отношение суммы коэффициентов теплопередачи наружных ограждающих конструкций, умноженных на площадь этих конструкций, к суммарной площади ограждающих конструкций, и требуемый коэффициент теплопередачи за счёт воздухопроницаемости здания в целом, формула для расчета, которого приведена в СНиП. Здесь не учитываются теплопоступления от внутренних источников тепла и от солнечной радиации. В Германии – Wärmeschutzverordnung – нормы по теплозащите – нормируют максимальный расход энергии на отопление в год, который включает теплопоступления от солнечной радиации и теплопотери за счет вентиляции.

Нормы СНиП 23-02-2003 также определяют этот расход в МДж/м<sup>2</sup>год.

При этом формула в приложении Г.2 не учитывает теплопотери за счёт вентиляции и воздухопроницаемости здания в целом.

Теплопотери через ограждающий контур называются трансмиссионными. Они составляют около 60% от всех потерь тепла. Теплопотери за счёт вентиляции и проветривания составляют около 30%. Ещё 10% составляют различные потери тепла, в том числе и за счет канализации.

Следует отметить, что повышение теплопередачи стен и перекрытий резко снижает теплопотери только до определенного предела. Затем это снижение становится незначительным и не окупает капитальные затраты на утепление ограждающих конструкций. Это показано последними исследованиями НИИСФ РААСН.

Теплопотери и теплопоступления в здании происходят через наружные ограждения (стены, крыша, частично – пол 1-го этажа). Их площадь, отнесенная к объёму здания, характеризует теплопотери и теплопоступления.

Отношение площади наружной поверхности здания к его объёму только отчасти характеризует теплопотери, так как не учитывает условия теплообмена ограждающих конструкций и их сопротивление теплопередаче. Например, через пол 1-го этажа уходит меньше тепла, чем через стены и крышу.

Чем больше ширина здания, тем меньше теплопотери. С увеличением этажности годовые затраты тепла на отопление ( $Q_{\text{год}}$ ) снижаются, причем с 1 до 3-х этажей – значительно. После 12 этажей это снижение происходит только при условии надёжной герметичности окон и стыков стеновых элементов.

Энергоэкономичность объёмно-планировочного решения здания можно оценить с помощью отношения величины теплопотерь здания к его полезной площади. Это – **УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД ТЕПЛА**.

В процессе разработки объёмно-планировочного решения здания следует, по возможности, располагать помещения здания в соответствии с принципом теплового зонирования. Особенно это касается холодного климата и средней полосы. С наветренной стороны располагается большинство подсобных помещений (лестничные клетки, коридоры, галереи). Такое расположение помещений способствует улучшению воздушного режима здания, экономии тепловой энергии при наступлении похолодания за счёт снижения поступления холодного воздуха вследствие воздухопроницаемости. Продольное расположение лестничных клеток экранирует с наветренной стороны большую площадь, напротив. Данное решение применимо также для обеспечения инсоляции с южных сторон горизонта при широтной планировке жилых секций.

«Буферные зоны» в объёмно-пространственной структуре здания

«Буферные зоны» размещаются как по периметру здания в виде остеклённых дворов, веранд, лоджий, оранжерей, так и внутри сооружения в виде открытых или закрытых светопрозрачным покрытием внутренних двориков.

Задачи буферных зон в основном – это обеспечить равновесие параметров внутренней среды, отделив её от наружного воздуха:

Обеспечить поступление солнечной энергии в здание в холодный период и защитить внутреннее пространство от перегрева летом.

Смягчить экстремальные воздействия на здание природной среды. Зимой отделить внутреннюю среду от наружной. Летом – обеспечить тягу воздуха через здание, с забором прохладного воздуха из теневых зон.

Создать равновесие между этими воздействиями и микроклиматом внутреннего пространства.

Наиболее эффективные «буферные зоны» - это атриумы. Атриумы широко используются в современной архитектуре как средство повышения комфортности зданий и архитектурной выразительности интерьеров. С точки зрения физики среды они являются средством регулирования микроклимата и снижения энергозатрат здания.

### Зарубежный и отечественный опыт

В жилищном строительстве примером может служить комплекс галерейных домов в Зальцбурге (Австрия). Здесь каждые два галерейных жилых дома объединены крытым стеклянной крышей атриумом шириной около 15 м. Архитектор Фридрих Брандштеттер создал между домами озелененную буферную зону, создающую в зимнее время и в плохую погоду комфортное пространство для игр детей, обеспечивающее плавный переход от внешней среды к внутренней среде жилых помещений. В жаркий период года открытые фрамуги и входные двери в атриуме обеспечивают вентиляцию и протяжку прохладного воздуха через атриум, снижая в нем

температуру. Традиционно атриум – основа объёмно-пространственной структуры здания – ограниченное от внешней среды пространство, вокруг которых располагаются блоки жилых, общественных или производственных помещений. Большинство современных отелей имеют атриумы. Примером может служить гостиница «Риц – Карлтон» на месте бывшей гостиницы «Националь» (рис.2). В Нью-Йорке в отеле на Таймс Сквер атриум имеет высоту 40 этажей (рис.3).

Однако атриум использовался и в древности, и в современной традиционной архитектуре жилых домов, например, в Средней Азии.

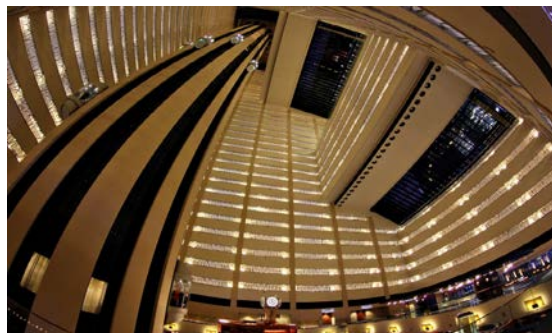
Летом в жарком климате помещения, выходящие окнами в атриум, защищены от солнца. Водоём создаёт испарительное охлаждение. Атриум понижает температуру в помещении на 3-4 градуса.



**Рис. 1.** Торцовый фасад жилых домов с атриумом, арх. Фридрих Брандштеттер.  
**Fig.1.** Facade of residential buildings with an atrium, architect. Friedrich Brandstetter.

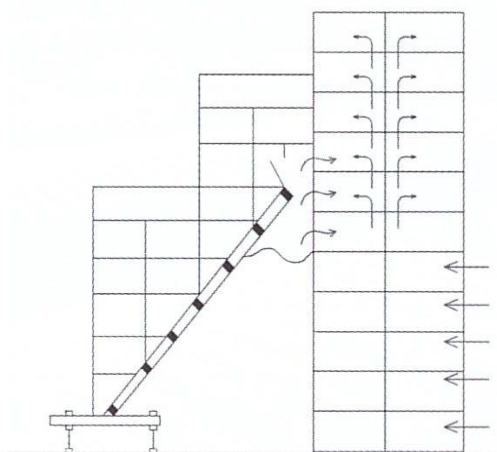


**Рис.2.** Атриум в отеле Риц-Карлтон в Москве.  
**Fig.2.** Atrium at the Ritz-Carlton Hotel in Moscow.



**Рис.3.** Атриум в отеле Мариот на Таймс Сквер в Нью Йорке  
**Fig.3.** Atrium at the Marriott Hotel in Times Square, New York

Вследствие этого помещения теряют через ограждения атриума гораздо меньше тепловой энергии, чем через наружные ограждающие конструкции здания. Наличие светопрозрачного ограждения, ориентированного на солнечную сторону горизонта, превращает атриум в энергоактивную объёмно-планировочную ячейку здания. С целью использования поднимающегося вверх тепла в верхней зоне атриума предусматривают воздухозаборники и воздушные каналы для циркуляции воздуха, по которым нагретый воздух с помощью вентиляторов направляется в нижнюю часть атриумного пространства и во внутренние помещения.



**Рис.4.** Атриум в многоэтажном административном здании.  
**Fig.4.** Atrium in a multi-storey office building.

Атриум может использоваться для активизации воздухообмена и охлаждения в зданиях с большими влаго- и тепловыделениями. С его помощью в высоких зданиях создается «эффект дымовой трубы». При небольшой высоте в вытяжные отверстия устанавливаются вентиляторы. Для быстрого охлаждения приточные отверстия размещаются в зоне затенения. Наиболее эффективно размещение приточных отверстий в подвалах вблизи холодных стен (рис.4). При этом следует контролировать качество забираемого из подвала воздуха. Подобная система применена в административном здании фирмы «Ространсгаз».

Атриумы можно рассматривать и как зимние сады. Зелёные насаждения в атриуме повышают его эстетические качества, улучшают микроклимат, насыщают воздух кислородом и создают определённый запас энергии. Они создают также положительный психологический эффект.

Требования энергэффективности накладывают определённые ограничения на ориентацию зданий. При этом основное значение имеют солнце и ветер. Солнце – нагревает, ветер – охлаждает. По санитарно-гигиеническим условиям инсоляции нельзя ориентировать на северную сторону горизонта (СЗ, С, СВ) одно- и двухкомнатные квартиры, а также более 2-х комнат в 3-4 комнатных квартирах.

Ориентация светопроёмов на солнечные стороны горизонта может быть причиной перегрева и увеличение затрат энергии на охлаждение помещений. При этом на Севере южные фасады инсолируются больше, чем на Юге. Поэтому в южных районах с точки зрения экономии энергии на охлаждение более целесообразны здания

вытянутой прямоугольной формы с длинными фасадами, ориентированными на Юг и на Север.

Исследованиями установлено, что в холодных районах квадратный и близкий к квадрату план, и объём в форме куба являются оптимальными. В южных районах квадратный план не является оптимальным. Все прямоугольные формы, вытянутые с Севера на Юг, менее благоприятны, чем квадрат. Оптимальная форма – прямоугольный план, вытянутый в направлении Восток – Запад.

Направление и повторяемость ветра в пункте строительства здания характеризует «роза ветров». Её строят по данным СНиП 2.01.01-89 «Строительная климатология».

Продольные стены, имеющие большое число оконных и дверных проемов, стыков панелей, ориентируют так, чтобы направление господствующего в январе ветра по возможности совпадало с продольной осью здания. При этом меньше инфильтрация холодного воздуха и больше экономия энергии.

Для комплексной оценки влияния ветра и солнечной радиации график «розы ветров» рассматривают совместно с изображением секторов неблагоприятной ориентации по условиям теплопотерь от инфильтрации и теплопоступлений от солнечной радиации.

Архитектурно-композиционное решение фасадов разрабатывают с учетом ветровой защиты, размещая балконы, лоджии, выступы в виде горизонтальных и вертикальных рёбер таким образом, чтобы максимально снизить ветровой напор. В жарких странах эти рёбра должны максимально затенять стены для снижения их нагрева солнцем.

Окна являются «глазами» современного здания и его «органами чувств», связывающими внутреннюю и внешнюю среду. Через окна в помещение попадает естественный свет. Чем его больше, тем меньше требуется энергии на электрическое освещение. Через окна зимой проникает солнечная радиация, нагревающая внутренние поверхности помещения. Тем меньше требуется энергии на отопление. Сопротивление теплопередаче самых эффективных современных окон не превышает  $1\text{ м}^2\text{С}^\circ/\text{Вт}$ , тогда, как сопротивление теплопередаче стены больше  $3\text{ м}^2\text{С}^\circ/\text{Вт}$ , т.е. в 3 раза больше тепловой энергии

уходит в холодное время через окна, чем через стены. В жаркое время года через окна в помещение поступает большое количество тепла. Это требует дополнительных затрат энергии на вентиляцию и охлаждение.

Кроме того, через окна проникает шум с улицы. Чем больше слоев стекла и чем меньше площадь окон, тем тише в квартире, но тем больше энергии требуется на электроосвещение, так как каждый слой стекла «съедает» 10% световой энергии. Контакт с внешней средой также имеет большое положительное психологическое значение. Чем больше окна, тем больше контакт. В то же время психологическое значение имеет защита от посторонних глаз «Privacy», которая требует уменьшения размеров окон.

Окна и другие светопроемы в зданиях должны быть не больше и не меньше, чем это необходимо. Ещё в начале XX в. определение площади окон подчинялось требованию:  $\text{Сок.} / \text{Спола} = 1/8$ . В настоящее время нормируемой величиной является КЕО. Но и это нормирование не всегда обеспечивает минимальные затраты энергии на восполнение теплопотерь через окна, на ликвидацию теплопоступлений через окна и на электрическое освещение. Затраты тепловой энергии и электроэнергии на устройство окон определяются через затраты «условного топлива». Всё это относится к  $1\text{ м}^2$  площади помещения.

Расчёт затрат условного топлива на устройство светопроёмов можно производить по методике НИИ Строительной Физики РААСН [2].

Естественное освещение зданий с помощью полых трубчатых световодов также является одним из средств повышения энергоэффективности зданий.

Полые трубчатые световоды были разработаны сначала для искусственного освещения. Их изобрели в СССР и в 1970-1980-х годах они широко использовались для искусственного освещения производственных зданий. Затем эта система была в России забыта. В начале XXI века на строительном рынке в России появились световоды, предназначенные для естественного освещения широких многоэтажных зданий и подвальных помещений, куда естественный свет не доходит.



**Рис. 5.** Освещение подвала световодами  
**Fig. 5.** Lighting of the basement with light guides.



**Рис. 6.** Световоды на крыше склада  
**Fig. 6.** Light guides on the roof of the warehouse

Преимущество световодов перед обычными системами искусственного освещения – в том, что световоды экономят электроэнергию, обеспечивают в помещении динамику и непрерывный спектр естественного света. Экономия энергии зависит от времени года и от погоды. Расчеты показывают, что годовая экономия электроэнергии на освещение за счет использования полых трубчатых световодов достигает 40%, которая имеет место в основном в летние месяцы.

Крупнейшее здание, освещаемое с помощью световодов в России, - таможенный терминал морского порта в Санкт-Петербурге. Поставщики световодов в России – фирма «СОЛАРСПОТ» (Италия), «СОЛАТЪЮБ» (США) и «СВЕТОВОД» (Ижевск, Россия) [4].

В НИУ МГСУ были проведены исследования теплопотерь и теплопоступлений в помещении через зенитные фонари и через световоды, создающие в помещении одинаковое значение КЕО [5]. За счёт конструктивных особенностей и малой площади светопрозрачной части световодов они создают во много раз меньшие теплопотери и теплопоступления в помещении.

Пассивные системы использования солнечной энергии для отопления и охлаждения зданий обеспечивают дополнительное большое снижение общих затрат энергии на отопление и охлаждение зданий. Пассивные системы – это элементы

объёмно-планировочных решений и конструктивных решений зданий, улавливающие солнечную энергию, проводящие её в глубину здания и накапливающие её там. В нужное время эта энергия отдаётся в воздух помещения и нагревает его. (Охлаждение происходит за счёт вытягивания холодного воздуха из теневых зон, из подвала и т.п. за счёт разницы температур, облучаемых солнцем поверхностей и поверхностей, находящихся в тени).

Элементами пассивных систем являются:

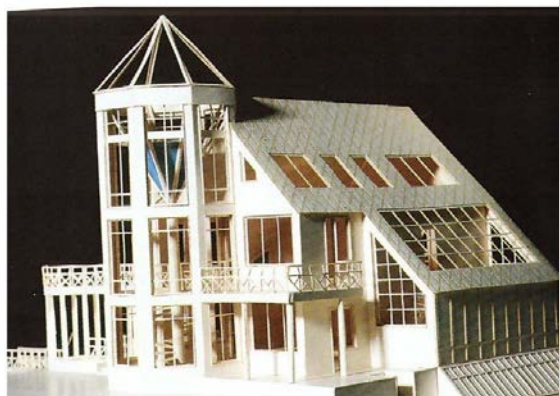
Стена Тромба – Мишеля (солнечный камин). Использовался в древнем Риме (Сохранились солнечные каминны в термах в г. Остия, недалеко от Рима). В современной архитектуре стены Тромба используются как в небольших коттеджах, так и в многоэтажных зданиях.

Исследования эффективности пассивных систем в НИУ МГСУ

Исследование эффективности стены Тромба было проведено в НИУ МГСУ в здании коттеджа, запроектированного в поселке Софрино Московской области, но в дальнейшем построенного на ВВЦ, за который авторский коллектив МГСУ получил золотую медаль ВВЦ [8]. На рис.8 показан проект этого коттеджа. Здесь использованы стена Тромба в гараже, ориентированная на юго-восток, а также зимний сад-теплица над гаражом.



**Рис.7.** Стены Тромба - Мишеля в многоэтажном здании на Лютцовштрассе в Берлине. Солнечные камины (стены Тромба), зимние сады (глубокие лоджии) интегрированы в фасад. Проектный институт ИБУС, Берлин, 1988 г.  
**Fig.7.** The walls of Tromb - Michel in a multi-storey building on the Lutzovstraße in Berlin. Solar fireplaces (Tromb walls), winter gardens (deep loggias) are integrated into the facade. Project Institute, IBES, Berlin, 1988.



**Рис.8.** Коттедж, построенный на ВВЦ, в котором использованы пассивные системы использования солнечной энергии.

**Fig.8.** Cottage, built at All-Russian Exhibition Center, which uses passive systems of solar energy.

На рис.9 показана диаграмма теплового баланса зимнего сада-теплицы над гаражом дома, диаграмма, показывающая экономию энергии на отопление в помещении гаража [8]. Как видно из рис.9, система отопления работает в зимнем саду в январе, феврале, ноябре и декабре. В остальное холодное и прохладное время года помещение зимнего сада отапливается за счет солнца и тепла отработанного вентиляционного воздуха. В годовом балансе тепло от солнечной радиации составляет 32.6%. Тепло отработанного вентиляционного воздуха составляет 28.5%. И только 38.9% составляет тепло за счет системы отопления.

Пристроенные теплицы, зимние сады имеют эффективность – до 30% экономии энергии на отопление для примыкающих помещений в год. Для накопления энергии для отопления ночью и в пасмурные дни применяются массивные перекрытия и массивные темные внутренние стены в зимних садах, различного типа аккумуляторы, баки с водой, ящики с глауберовой солью. Ночью и в пасмурные дни зимой теплицы отапливаются за счёт воздухообмена с внутренним воздухом помещения, который туда подаётся с помощью вентиляторов.

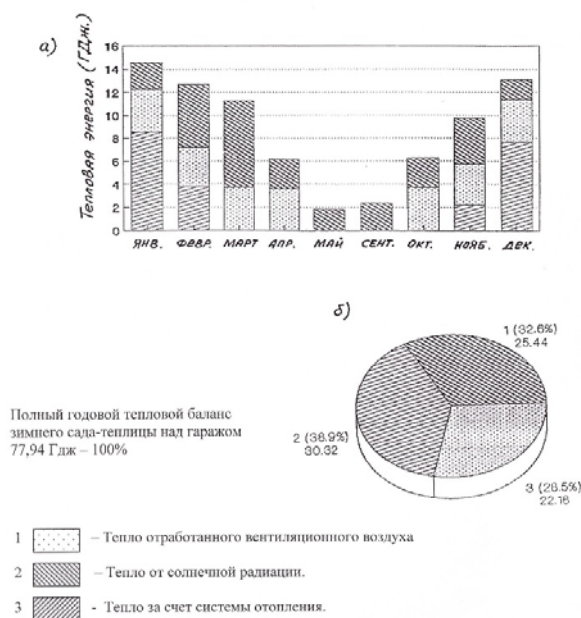


Рис.9. Тепловой баланс зимнего сада-теплицы над гаражом в доме на ВВЦ.

Fig.9. Heat balance of the winter garden-greenhouse above the garage in the house at All-Russian Exhibition Center

Накопители солнечной энергии- это вспомогательные системы пассивного солнечного отопления. Эти системы хорошо накапливают тепло, особенно в случае применения не только гравия, но и эффективных накопителей солнечной энергии, таких, как вода и глауберова соль. Однако они имеют значительные недостатки:

а) При отсутствии солнца, если не закрывать остекление теплоизолированными ставнями, накопители будут охлаждать помещение. (Циркуляция воздуха наоборот).

б) Устройство возможно только при высоком цоколе или при расположении здания на южном склоне.

В сумме сочетание нескольких элементов пассивных систем может обеспечить около 40% экономии энергии на отопление.

Применение специального инженерного оборудования не относится к пассивным системам. Это – скорее активные системы. Они требуют значительных капитальных затрат, но в сочетании с пассивными системами могут обеспечивать значительную экономию энергии в зданиях.

### Так что же такое «пассивные здания»?

Для того, чтобы определить это понятие, необходимо сначала ввести понятие о первичной энергии, потребляемой в здании на отопление, охлаждение, освещение и на другие бытовые нужды. Общее энергопотребление дома предлагается рассчитывать по первичной энергии. При этом складывать показатели электрической и тепловой энергии нельзя, поскольку затраты на их производство различны. Эти показатели приводятся к общему знаменателю с помощью установленных коэффициентов, приведенных в специальной литературе [5]. В России эти показатели приводятся друг к другу с помощью количества «условного топлива». Этот критерий положен в основу расчёта энергозатрат на устройство систем естественного освещения зданий, разработанного НИИ Строительной физики РААСН [2].

Затраты энергии на отопление зданий в зимний период оцениваются количеством удельного расхода энергии на отопление зданий в кВтч/м<sup>2</sup> год.

**Таблица 1.** Классификация зданий в зависимости от их уровня энергопотребления в Европе и России: [5]  
**Table 1.** Classification of buildings depending on their level of energy consumption in Europe and Russia

Класс энергоэффективности		Удельный расход тепловой энергии кВтч/м <sup>2</sup> год	
В Европе	В России	В Европе	В России
Пассивный дом		<15	<или=15
A	Ультранизкое потребление	<30	16 – 35
B	Низкое потребление	<50	36 – 60
C	Пониженное потребление	<70	60 – 100
D	Существующее потребление	<90	95 – 195
E		<120	
F		<160	
G		>160	

Основной критерий «пассивного дома»: Удельный расход тепловой энергии на отопление не должен превышать 15 киловатт часов на квадратный метр в год. Для сравнения в Москве в малоэтажных зданиях составляет 150 -300 кВтч/м<sup>2</sup>год, т.е. в 10 – 20 раз больше.

Второй критерий, которому должен соответствовать «пассивный дом» - общее потребление первичной энергии не должно превышать 120 кВтч/м<sup>2</sup>год. Для сравнения, в доме, который считается просто энергоэффективным, этот показатель составляет около 250 кВтч/м<sup>2</sup>год.

Строительство «пассивных домов» во всем мире находится всё еще в стадии эксперимента. Однако применение активных систем для снижения потребления первичной энергии, будучи простимулировано государством в Европе и США, расширяется с большой скоростью. В России можно насчитать около 10 проектов, осуществлённых в натуре, которые не показали значительную эффективность [6]. Можно говорить о том, что климат России не подходит. Однако даже в Финляндии строительство индивидуальных жилых домов с пассивными системами использования солнечной энергии достаточно распространено. Продолжение работы в этой области необходимо, в том числе и в таких солнечных районах России, как Забайкалье, Читинская область, Крым и Северный Кавказ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон ФЗ №261 «Об энергосбережении и энергоэффективности». Москва. 2009.
2. Пособие по расчету и проектированию естественного, искусственного и совмещенного освещения. (к СНиП П 4-79). М. Стройиздат. 1985.
3. А.К.Соловьёв. «Физика среды». М. Издательство АСВ. 2015.
4. Kusnetsov A.L., Oseledets E.Ju., Solovyov

A.K., Stolyarov M.V. //Light &Engineering. 2012. Т.20. N 3.

5. Соловьёв А.К., Туснина О.А. Сравнительный теплотехнический расчет систем верхнего естественного освещения (зенитные фонари и полые трубчатые световоды) // Инженерно-строительный журнал. 2014. №2 (46). С.24-35.

6. Passive House Institute. Darmstadt. 2014. Март 2014. [Электронный ресурс ] URL: <http://passive.de>.

7. Хохлова Л.П. Коттеджи с солнечным энергоснабжением. //Жилищное строительство. 2005. №8.

8. А.К.Соловьёв. Солнечная архитектура (комфорт и экономия энергии). // Красивые дома. 2000. №1.

### REFERENCES

1. Federal Law No. 261 "On Energy Saving and Energy Efficiency". Moscow. 2009.
2. Manual for the calculation and design of natural, artificial and combined lighting. (to SNiP P 4-79). M. Stroizdat. 1985.
3. A.K. Solovyev. "Physics of the environment". M. ACB. 2015.
4. Kusnetsov A.L., Oseledets E.Ju., Solovyov A.K., Stolyarov M.V. //Light &Engineering. 2012. Т.20. N 3.
5. Solovyev AK, Tushina OA Comparative thermotechnical calculation of systems of the upper natural light (zenith lanterns and hollow tubular light guides) // Engineering and construction magazine. 2014. №2 (46). P.24-35
6. Passive House Institute. Darmstadt. 2014. Март 2014. [Электронный ресурс ] URL: <http://passive.de>.
7. Khokhlova L.P. Cottages with solar energy. // Housing construction. 2005. № 8.
8. A.K. Solovyev. Solar architecture (comfort and energy saving). // Beautiful houses. 2000. № 1.

ECONOMY OF ENERGY AT THE OPERATION OF BUILDINGS AND PASSIVE SYSTEMS OF  
USE OF SOLAR ENERGY

Solovyov A.K.

**SUMMARY:** Today it is necessary to spend more and more energy in all branches of life. Now In industry the necessity of energy consumption practically become the same as in housing. The results of investigations, carried in Moscow University for civil engineering, are discussed. Some common principles of determination “Passive House” – system are discussed. Different elements of “Passive House” architectural and structural design are analyzed. It is proposed, that “Passive House” may be determined as a house, which is supplied only with architectural and structural elements providing economy of energy for heating, without use of engineering equipment, and , especially, by means of solar energy and other untraditional types of energy. It is emphasized, that the maximal effect of passive solar systems can be obtained in regions with maximal amount of sunny days in the year independent of the temperature in winter period.

**Keywords:** Saving energy; “passve” and “active” systems of solar energy use, atriums, Tromb walls, light pipes, supplementary lighting, heat balance.



УДК 662.997:502.174.3[-001.891.5]

ДВУМЕРНАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СОЛНЕЧНОМ КОЛЛЕКТОРЕ И ЕЕ  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА

Бекиров Э. А., Каркач Д. В.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)

ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,

295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181

[karckach@mail.ru](mailto:karckach@mail.ru)

**Аннотация** Построена математическая модель плоского солнечного коллектора на основе двумерного уравнения теплопроводности. Разработан многопоточный алгоритм решения двумерного уравнения теплопроводности методом прогонки, проведено исследование его масштабируемости. Создана программа для решения уравнений модели, которая позволяет подавать на вход алгоритма реальный поток солнечного излучения и температуру окружающего воздуха. Проведен натурный эксперимент, в котором, в частности, было исследовано влияние прозрачного остекления на эффективность коллектора. Проведено численное решение дифференциальных уравнений модели и исследована динамика температуры пластины адсорбера и температуры теплоносителя в теплообменной трубе и баке-аккумуляторе. Установлено, что математическая модель адекватно отражает тепловые процессы в солнечном коллекторе и дает отклонения от экспериментальных температур не более  $2^{\circ}\text{C}$ . Показано, что наличие однослойного прозрачного остекления приводит к увеличению эффективности коллектора от 20 до 30 %.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, уравнение теплопроводности, солнечный коллектор, метод прогонки.

## ВВЕДЕНИЕ

Одна из основных проблем солнечной энергетики заключается в сравнительно небольшой плотности потока солнечного излучения, достигающего поверхности Земли. В связи с этим важной задачей является максимально полное использование этой энергии установками с максимальной эффективностью. Среди существующих способов использования солнечного излучения наибольшим КПД обладает солнечный коллектор.

Создание эффективных установок по использованию возобновляемых источников энергии невозможно без проведения предварительного моделирования процессов преобразования солнечной энергии. Построение математической модели необходимо для определения интегральных параметров установки, а также для оптимизации конструкции с целью достижения экстремума целевой функции проектирования (например, максимальной или заданной производительности, или минимизации сроков окупаемости и т.д.).

В данной статье предлагается двумерная модель солнечного коллектора, основанная на решении уравнения теплопроводности для пластины адсорбера и уравнений передачи энергии теплоносителю в трубах, остеклению и баке-аккумулятору. Проведена проверка адекватности модели с помощью натурального эксперимента.

В основе предложенной математической модели лежит система дифференциальных уравнений, позволяющая определить мгновенный поток тепла, передаваемый в бак-аккумулятор, что дает возможность определить теплопроизводительность коллектора и его КПД.

## Математическая модель солнечного коллектора.

Рассмотрим ребро коллектора солнечного излучения типа лист-труба (рис 1.) с единственной теплосъемной трубой, положение которой относительно адсорбера может быть произвольным. Будем пренебрегать теплообменом через боковые поверхности адсорбера вследствие их малой площади по сравнению с площадью лицевой и

обратной стороны, наклоненных на угол  $\alpha$  к горизонту.

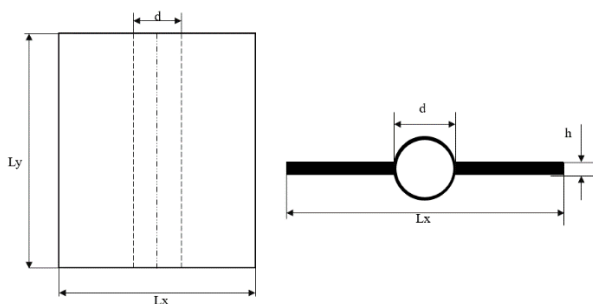


Рис. 1. Схема адсорбера солнечного излучения

Двумерное уравнение теплопроводности для пластины адсорбера имеет вид [1]:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + F(x, y, t, T, T_e, T_i), \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность материала пластины,  $c$  – ее теплоемкость,  $\lambda$  – теплопроводность пластины.

Начальные и граничные условия для уравнения (1) представляют собой начальные значения температуры, а также условия отсутствия теплообмена через торцы пластины:

$$\begin{cases} 0 \leq x \leq L_x, 0 \leq y \leq L_y \\ T|_{t=0} = T_0 \\ \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=L_x} = 0 \\ \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0} = 0, \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=L_y} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Функция источника  $F(x, y, t, T, T_e, T_i)$  определяется плотностью потока падающего солнечного излучения, потерями тепла с поверхности пластины через теплоизоляцию с ее обратной стороны, через конвекцию и излучение с лицевой стороны и через передачу энергии теплоносителю в трубах:

$$F(x, y, t, T, T_e, T_i) = -\frac{P(t)}{h} + k_c(T, T_e) \frac{T - T_e}{h} + \varepsilon \sigma \frac{T^4 - T_n^4}{h} + k_b \frac{T - T_e}{h} + S(x, y) k_r(T, T_i) \frac{T - T_i}{h}, \quad (3)$$

где  $h$  – толщина пластины,  $P(t)$  – плотность падающего потока излучения как функция времени,  $k_c(T, T_e)$  – коэффициент теплопередачи конвекцией, зависящий от температуры окружающей среды  $T_e$  и температуры пластины  $T$ ,  $\varepsilon$  – коэффициент излучения,  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана,  $k_b$  – коэффициент теплоотдачи через теплоизоляцию с обратной стороны пластины,  $S(x, y)$  – функция, определяющая расположение труб коллектора (равна единице в месте прикрепления трубы к пластине и нулю во всех остальных точках),

$k_r(T, T_i)$  – коэффициент теплопередачи от пластины к теплоносителю,  $T_i$  – температура теплоносителя в трубе.

Так как коллектор обменивается излучением непосредственно с окружающим воздухом с температурой  $T_e$ , а с более высокими атмосферными слоями которые имеют более низкую температуру, то в (3) необходимо использовать так называемую эффективную температуру неба  $T_n$ , определяемую выражением [2]:

$$T_n = 0.0552 \cdot T_e^{1.5}.$$

Согласно [3] коэффициент передачи тепла конвекцией от пластины:

$$k_c(T, T_e) = 0.135 \cdot \lambda \left( \frac{g(T - T_e)}{v_e a_e (T + T_e)} \right)^{1/3}, \quad (4)$$

где  $v_e$  – коэффициент кинематической вязкости воздуха,  $a_e$  – его коэффициент температуропроводности и  $\lambda_e$  – теплопроводность воздуха.

Наличие остекления перед лицевой поверхностью адсорбера вносит существенные изменения в картину физических процессов теплообмена. При углах падения солнечного излучения на стекло до  $40^\circ$  коэффициент отражения для видимого света составляет около 8% (для обеих поверхностей), что дает  $\tau_r = 1 - 0.08 = 0.92$ . Ослабление света в стекле определяется законом Бугера  $\tau_a = e^{-Kx}$ . Коэффициент поглощения  $K$  для обычных кроновых стекол составляет около  $0,3 \text{ см}^{-1}$  [4]. Таким образом, при толщине стекла  $0,4 \text{ см}$  получим  $\tau_a = e^{-0.3 \cdot 0.4} = 0.89$ . Общее светопропускание стекла составит  $\tau_o = \tau_r \tau_a = 0.92 \cdot 0.89 = 0.82$ . При этом поглощение света в стекле  $k_o = (1 - 0,89) \cdot 0,92 = 0,10$ , т. е. 10% от падающего потока.

Энергетический баланс остекления складывается из поглощенной энергии падающего солнечного излучения  $Q_n$ , потерь в окружающую среду через конвекцию  $Q_1^k$  и излучение  $Q_1^u$ , а также из притока энергии от пластины адсорбера через конвекцию в зазоре между ними  $Q_2^k$  и излучение  $Q_2^u$ . Уравнение баланса энергии для остекления имеет вид:

$$c_{oh} dm dT = dQ - dQ_1^k - dQ_1^u + dQ_2^k + dQ_2^u$$

Для перехода от количества тепла к плотности потока энергии  $q$  разделим это уравнение на

произведение  $dt dS$ . С учетом того, что  $dm = \rho_o h_o dS$ , где  $\rho_o$  – плотность стекла

$$c_o \rho_o \frac{dT_o}{dt} = q - q_1^{ku} - q_1^k + q_2^u + q_1 \quad (5)$$

Поглощение солнечного излучения в стекле определяется коэффициентом поглощения  $k_o$ :

$$q_n = k_o P.$$

Конвекционный поток от стекла в окружающую среду определяется в соответствии с (4):

$$q_1^k = k_c (T, T_e) \cdot (T - T_e),$$

а излученный поток в соответствии с формулой:

$$q_1^u = \varepsilon_o \sigma (T_o^4 - T_n^4).$$

Число Нуссельта для теплопередачи конвекцией от пластины адсорбера к стеклу в зависимости от наклона коллектора  $\alpha$  определяется с помощью экспериментальной формулы [5]:

$$Nu = 1 + 1.44 \left( 1 - \frac{1708 \cdot (\sin(1.8\alpha))^{1.6}}{Ra \cdot \cos \alpha} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos \alpha} \right) + \left( \left( \frac{Ra \cdot \cos \alpha}{5830} \right)^{1/4} - 1 \right), \quad (6)$$

где  $Ra$  – число Рэлея, определяемое по формуле:

$$Ra = \frac{2g(T - T_o)l^3}{\nu_o \alpha_o (T + T_o)},$$

где  $l$  – расстояние между адсорбером и остеклением. Окончательно конвективный поток от адсорбера к стеклу:

$$q_2^k = \frac{Nu \cdot \lambda_o}{l} (T - T_o).$$

Поток, переданный излучением от пластины к стеклу вычисляется по формуле:

$$q_2^u = \frac{\sigma(T^4 - T_o^4)}{\frac{1}{\varepsilon} + \frac{1}{\varepsilon_o} - 1},$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент излучения адсорбера,  $\varepsilon_o$  – коэффициент излучения стекла. Следует отметить, что падающий поток солнечного излучения в видимом диапазоне спектра слабо поглощается в стекле, тогда как пластина адсорбера, нагретая до порядка  $60^\circ\text{C}$  излучает уже в инфракрасном диапазоне излучение с длиной волны около несколько микрометров. Стекло в этом диапазоне практически непрозрачно, что препятствует потере энергии коллектором.

Число Нуссельта для процесса теплоотдачи от трубы коллектора к теплоносителю при турбулентном режиме определяется выражением [6]:

$$Nu = 0.021 Re_t^{0.8} Pr_t^{0.43} \left( \frac{Pr_t}{Pr_s} \right)^{0.25},$$

где  $Re$  и  $Pr$  числа Рейнольдса и Прандтля для теплоносителя. Индекс “t” относится к теплоносителю при его собственной температуре,

индекс “s” – к теплоносителю при температуре стенки трубы.

Локальный коэффициент теплоотдачи имеет вид:

$$\alpha = \frac{\lambda_t Nu}{d},$$

где  $\lambda_t$  – теплопроводность теплоносителя,  $d$  – диаметр трубы адсорбера. Количество тепла, полученное теплоносителем на участке трубы  $dx$  за время  $dt$ :

$$dQ = \alpha (T_s - T_t) d \cdot dx dt \quad (7)$$

С другой стороны, это же количество тепла можно представить через приращение температуры теплоносителя  $dT$ :

$$dQ = c_t \cdot dm dT = \frac{1}{4} c_t \rho_t \pi d^2 dx dT, \quad (8)$$

где  $\rho_t$  – плотность теплоносителя при данной температуре,  $c_t$  – его теплоемкость.

Из формул (7) и (8), с учетом того, что  $dx = v dt$ , найдем градиент средней (по сечению) температуры по длине трубы коллектора:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{4 \lambda_t Nu (T_s - T_t)}{\nu c \rho \pi d^2}, \quad (9)$$

где  $\nu$  – средняя скорость течения теплоносителя.

Решение этого дифференциального уравнения дает возможность определить температуру в каждой точке трубы при известном распределении температуры на ее стенке. В случае нескольких теплообменных труб в одном ребре коллектора уравнение (9) необходимо решить для каждой из них

Динамика температуры в баке-аккумуляторе определяется методом расщепления по физическим процессам. Поступившая от нагретого теплоносителя энергия передается в бак, а также в окружающую среду через стенки бака и его теплоизоляцию. Считая эти процессы аддитивными на малом интервале времени, определим сначала скорость изменения температуры в баке без учета диссипации тепла.

Энергия, приходящая в бак-аккумулятор, определяется выражением:

$$dQ = c_t \cdot dm \cdot (T_t - T_b), \quad (10)$$

где  $T_b$  – температура в баке-аккумуляторе,  $T_t$  – температура на выходе из трубы адсорбера. Из (10) имеем:

$$dQ = \frac{1}{4} c_t \rho_t \pi d^2 v (T_t - T_b) dt, \quad (11)$$

Этот приход тепла дает увеличение температуры в баке-аккумуляторе:

$$dQ = c_i m_b dT_b = c_i \rho_i V_b dT_b, \quad (12)$$

где  $m_b$  – масса воды в баке,  $V_b$  – его объем.

Приравнивая (11) к (12) и выражая скорость измерения температуры в баке без учета потерь

$\frac{dT'_b}{dt}$ , получим:

$$\frac{dT'_b}{dt} = \frac{\pi d^2 v}{4V_b} (T_i - T'_b).$$

В случае нескольких теплообменных труб одинакового сечения уравнение (11) примет вид:

$$dQ = \frac{1}{4} c_i \rho_i \pi d^2 v \sum_{i=1}^{N_p} (T_{bi} - T_b) dt,$$

где  $N_p$  – количество труб. Следовательно, динамика температуры в баке без учета потерь определится выражением:

$$\frac{dT'_b}{dt} = \frac{\pi d^2 v}{4V_b} \sum_{i=1}^{N_p} (T_{bi} - T_b). \quad (13)$$

Потери энергии из бака в окружающую среду зависят от коэффициента теплоотдачи:

$$\alpha_T = \frac{Q_{diss}}{S_b (T_b - T_e) \tau} = \frac{cm(T'_b - T_b)}{S_b (T_b - T_e) \tau}, \quad (14)$$

где  $T_b$  – температура в баке с учетом потерь,  $Q_{diss}$  – количество энергии, переданной окружающей среде. Тогда:

$$T_b = T'_b - \frac{\alpha_b S (T'_b - T_e) \tau}{c_i \rho_i V_b} \quad (15)$$

Решение системы уравнений (1), (9), (13) и (15) дает возможность определить динамику распределения температуры по поверхности пластины адсорбера и температуру теплоносителя в каждой точке теплообменных труб, а также изменение температуры в баке-аккумуляторе в течение светового дня. При решении этой системы совместно с уравнением (5) можно моделировать коллектор с остеклением.

### Решение системы дифференциальных уравнений.

Решение дифференциального уравнения теплопроводности (1) проводится методом прогонки [1]. После введения двумерной сетки  $i = 1..N_x$ ,  $j = 1..N_y$  ( $N_x, N_y$  – количество узлов сетки по

координатам) с шагами  $H_x = \frac{L_x}{N_x - 1}$  и  $H_y = \frac{L_y}{N_y - 1}$  и

записи производных в виде разностей

$$\frac{dT}{dt} = \frac{T_{i,j}^1 - T_{i,j}^0}{\tau}, \quad \frac{d^2T}{dx^2} = \frac{T_{i+1,j} - 2T_{i,j} + T_{i-1,j}}{H_x^2},$$

$$\frac{d^2T}{dy^2} = \frac{T_{i,j+1} - 2T_{i,j} + T_{i,j-1}}{H_y^2}, \text{ получим два сеточных}$$

уравнения:

$$\rho c \frac{T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - T_{i,j}^n}{\tau} = \lambda \left( \frac{T_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - 2T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + T_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{H_x^2} \right) + F_x(x, y, t, T, T_e, T_i), \quad (16)$$

$$\rho c \frac{T_{i,j}^{n+1} - T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\tau} = \lambda \left( \frac{T_{i,j+1}^{n+1} - 2T_{i,j}^{n+1} + T_{i,j-1}^{n+1}}{H_y^2} \right) + F_y(x, y, t, T, T_e, T_i), \quad (17)$$

где

$$F_x(x, y, t, T, T_e, T_i) = -\frac{P(t)}{2h} + k_c(T, T_e) \frac{T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - T_e}{2h} + \varepsilon \sigma \frac{(T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}})^4 - T_n^4}{2h} +$$

$$+ k_b \frac{T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - T_e}{2h} + S(x, y) k_1(T, T_i) \frac{T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - (T_i)_j}{2h}$$

$$F_y(x, y, t, T, T_e, T_i) = -\frac{P(t)}{2h} + k_c(T, T_e) \frac{T_{i,j}^{n+1} - T_e}{2h} + \varepsilon \sigma \frac{(T_{i,j}^{n+1})^4 - T_n^4}{2h} +$$

$$+ k_b \frac{T_{i,j}^{n+1} - T_e}{2h} + S(x, y) k_1(T, T_i) \frac{T_{i,j}^{n+1} - (T_i)_j}{2h}$$

На полуцелом шаге  $n + \frac{1}{2}$  уравнение решается вдоль оси  $X$ . На целом шаге – вдоль оси  $Y$ .

Рассмотрим решения уравнения (16) по оси  $X$  методом прогонки. Уравнение представляется оно представляется в виде:

$$A_i T_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - B_i T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + C_i T_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} = F_i. \quad (18)$$

Коэффициенты  $A_i, B_i, C_i$  и  $F_i$  определяются после подстановки (3) в уравнение (16) по формулам:

$$A_i = C_i = \frac{\lambda}{H_x^2}, \quad B_i = \frac{2\lambda}{H_x^2} + \frac{\rho c}{\tau}, \quad (19)$$

$$F_i = -\frac{\rho c T_{i,j}^n}{\tau} + k_c(T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}, T_e) \frac{(T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - T_e)}{2h} + \varepsilon \sigma \frac{(T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}})^4 - T_n^4}{2h} - \frac{P(t)}{2h} +$$

$$+ k_b \frac{(T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - T_e)}{2h} + S(x, y) k_1(T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}, (T_i)_j) \frac{(T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - (T_i)_j)}{2h}.$$

Так как система уравнений (18) является нелинейной, что связано с нелинейной зависимостью  $F_i$  от температуры пластины, то решение производится несколько раз с использованием вновь вычисленных значений температуры  $T_{i,j}$  (метод последовательных приближений). Расчет прекращается при выполнении условия:

$$\max |T_{i,j}^n - T_{i,j}^{n-1}| \leq \varepsilon_0.$$

Для решения методом прогонки определяются два массива чисел  $\alpha_i$  и  $\beta_i$  (прогночные коэффициенты), такие что

$$T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} = \alpha_i T_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} + \beta_i. \quad (20)$$

Уменьшая индекс  $i$  в (20) на единицу и подставляя его в (18) получим рекуррентные формулы для прогночных коэффициентов:

$$\alpha_i = \frac{A_i}{B_i - C_i \alpha_{i-1}}, \quad \beta_i = \frac{C_i \beta_{i-1} - F_i}{B_i - C_i \alpha_{i-1}}, \quad i = 2, \dots, N_x - 1 \quad (21)$$

Коэффициенты для первого и последнего уравнений определяются из граничных условий. Дискретизация граничных условий второго рода в модели проводится с погрешностью  $O(h^2)$ . Для определения  $\alpha_1$  и  $\beta_1$  разложим температуру вблизи  $x = 0$  в ряд Тейлора до второго порядка:

$$T_2^{n+\frac{1}{2}} = T_1^{n+\frac{1}{2}} + H_x \frac{\partial T^{n+\frac{1}{2}}}{\partial x} + \frac{H_x^2}{2} \frac{\partial^2 T^{n+\frac{1}{2}}}{\partial x^2}. \quad (22)$$

Так как на границе выполняется уравнение теплопроводности  $\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$ , где  $a = \frac{\lambda}{\rho c}$  – коэффициент температуропроводности материала адсорбера, то

$$T_2^{n+\frac{1}{2}} = T_1^{n+\frac{1}{2}} + H_x \frac{\partial T^{n+\frac{1}{2}}}{\partial x} + \frac{H_x^2}{2a} \frac{\partial T^{n+\frac{1}{2}}}{\partial t}. \quad (23)$$

Так как, согласно граничному условию  $\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = 0$  и  $\frac{\partial T^{n+\frac{1}{2}}}{\partial t} = \frac{T_1^{n+\frac{1}{2}} - T_1^n}{\tau}$ , то

$$T_{1,j}^{n+\frac{1}{2}} = \frac{2a\tau}{2a\tau + H_x^2} T_{2,j}^{n+\frac{1}{2}} + \frac{H_x^2 T_{1,j}^n}{2a\tau + H_x^2}.$$

Таким образом, с учетом выражения для температуропроводности:

$$\alpha_1 = \frac{2\lambda\tau}{\rho c H_x^2 + 2\lambda\tau}, \quad \beta_1 = \frac{\rho c H_x^2}{\rho c H_x^2 + 2\lambda\tau}. \quad (24)$$

Для определения значения температуры в последней точке используется правое граничное условие  $\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=L_x} = 0$ . Раскладывая температуру в ряд

и учитывая, что  $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t}$  получим:

$$T_{N_x-1,j}^{n+\frac{1}{2}} = T_{N_x,j}^{n+\frac{1}{2}} + \frac{H_x^2}{2a} \frac{\partial T^{n+\frac{1}{2}}}{\partial t}. \quad (25)$$

Заменяем производную по времени разностью и учитывая, что в соответствии с методом прогонки

$$T_{N_x-1,j}^{n+\frac{1}{2}} = \alpha_{N_x-1} T_{N_x,j}^{n+\frac{1}{2}} + \beta_{N_x-1} \text{ получаем:}$$

$$T_{N_x,j}^{n+\frac{1}{2}} = \frac{2\lambda\tau\beta_{N_x-1} + \rho c \tau T_{N_x,j}^n}{\rho c H_x^2 + 2\lambda\tau(1 - \alpha_{N_x-1})}. \quad (26)$$

Аналогичным образом (с учетом замены  $H_x$  на  $H_y$  и  $N_x$  на  $N_y$ ) определяются коэффициенты  $\alpha_1$ ,  $\beta_1$  и  $T_{i,N_y}^{n+1}$  для решения системы (17). Таким образом, после решения методом последовательных приближений уравнений (16) и (17) завершается шаг по времени для решения уравнения (1).

Уравнение (9) переписывается в конечных разностях:

$$\frac{T_{Pi}^n - T_{Pi-1}^n}{H_y} = \frac{4\lambda_i Nu (T_{i,j}^n - T_{Pi}^{n-1})}{\nu c_i \rho_i \pi d^2},$$

после чего на каждом временном шаге определяется распределение температуры по длине трубы коллектора по известному распределению температуры на предыдущем шаге:

$$T_{Pi}^n = T_{Pi-1}^n + \frac{4\lambda_i (T_{i,j}^n - T_{Pi}^{n-1})}{\nu c_i \rho_i \pi d^2} H_y. \quad (27)$$

Аналогично переписывается в конечных разностях уравнение (13):

$$\frac{T_b^n - T_b^{n-1}}{\tau} = \frac{\pi d^2 \nu}{4V_b} \sum_{i=1}^{N_p} \left( (T_{PN_y}^n)_i - T_b^{n-1} \right),$$

откуда

$$T_b^n = T_b^{n-1} + \frac{\pi d^2 \nu \tau}{4V_b} \sum_{i=1}^{N_p} \left( (T_{PN_y}^n)_i - T_b^{n-1} \right). \quad (28)$$

Аппроксимируя производную в (5) разностью  $\frac{dT_o}{dt} \approx \frac{T_o^n - T_o^{cm}}{\Delta t} = \frac{T_o^n - T_o^{cm}}{\tau}$ , получим:

$$T_o^n = T_o^{cm} + \frac{\tau}{c_o \rho_o h_o} (q_n - q_1^{ku} - q_1^k + q_2^u + q_1) \quad (29)$$

Таким образом, на каждом временном шаге необходимо решение системы трех или четырех (при моделировании с остеклением) дифференциальных уравнений (1), (5), (9), (13). Уравнения (16) и (17) решаются методом прогонки, уравнение (5) с помощью формулы (29) уравнение (9) с помощью формулы (27), а уравнение (13) с помощью формул (28) и (15).

Внешнее воздействие на систему выражается в переменном падающем потоке солнечного излучения и переменной температуре окружающего воздуха. Методика теоретического расчета падающего потока в зависимости от высоты Солнца и от ориентации солнечного коллектора изложена в [7].

### Экспериментальная установка.

Установка (рис. 2) состоит из двух солнечных коллекторов, имеющих общий бак-аккумулятор, циркуляционного насоса и расходомера. В данной работе использовались экспериментальные данные, полученные на малом коллекторе. Коллектор с плоской поверхностью состоит из двух алюминиевых ребер размером 900x150 мм. Специальный профиль на длинной стороне ребер позволяет обеспечивать их сцепление при сборке коллектора. Труба в адсорбере имеет диаметр 20 мм и проходит по левому краю ребра. Соединенные между собой ребра адсорбера помещены в короб из 4 мм фанеры, который теплоизолирован вспененным полиэтиленом, толщиной 10 мм. Для проверки математической модели коллектор в некоторые экспериментальные дни работал без остекления. Коллектор смонтирован на высоте 2 м над землей и ориентирован на юг (азимут  $10^0$ ). Наклон к горизонту составлял  $32^0$ .



Рис. 2. Внешний вид экспериментальной установки.

В баке-аккумуляторе и на коллекторе закреплены датчики температуры DS18B20, соединенные через USB-адаптер с компьютером. На компьютере запускалась программа TempKeeper, обеспечивающая снятие показаний с датчиков каждую секунду и их сохранение. Плотность потока солнечного излучения определялась с помощью пиранометра Янишевского, подключённого к микроамперметру на основе тестера Uni-T 61B, который через COM порт подключался к компьютеру. Специальная программа обеспечивала снятие показаний с пиранометра каждую секунду, что дает возможность отслеживать колебания плотности потока солнечного излучения, связанные с проходящими облаками. Математическая модель коллектора была реализована в среде Delphi. В созданной программе имеется возможность подавать на вход алгоритма реальную температуру окружающего воздуха и реальную измеренную плотность потока солнечного излучения.

Благодаря тому, что в системах уравнений (16) и (17), аппроксимирующее уравнение теплопроводности, один из индексов ( $i$  или  $j$ ) всегда остается одинаковым (решение на новом временном слое ищется вдоль строки или вдоль столбца массива  $T_{i,j}$ ) имеется возможность создать многопоточный алгоритм, использующий все доступные ядра процессора. В начале работы программа определяет количество доступных ядер и делит массив на соответствующее количество частей, после чего создаются идентичные вычислительные потоки, каждый из которых обрабатывает свою часть массива температур. Отдельные потоки вычислений в среде программирования Delphi создаются с помощью специальных объектов-потоков (Threads). Создание и уничтожение таких объектов в ходе программы занимает достаточно много времени, поэтому все объекты потоков создаются в начале работы программы. Каждый поток при создании получает копии всех объектов программы со всеми полями и методами. Это минимизирует обращения к основному потоку программы и увеличивает степень масштабирования алгоритма. Запуск и остановка потоков проводятся с помощью событий потоков (Events), а получение данных из основной программы передача результатов на следующие этапы вычислений организована через критические секции (Critical Sections).

Таким образом, наиболее затратная с вычислительной точки зрения часть алгоритма (решения дифференциального уравнения теплопроводности) проводится с полным использованием всех ресурсов центрального процессора компьютера. В связи с этим наблюдается существенное ускорение времени расчета, что показано на рис. 3. При увеличении количества доступных программных потоков в четыре раза почти в четыре раза уменьшается время вычислений.

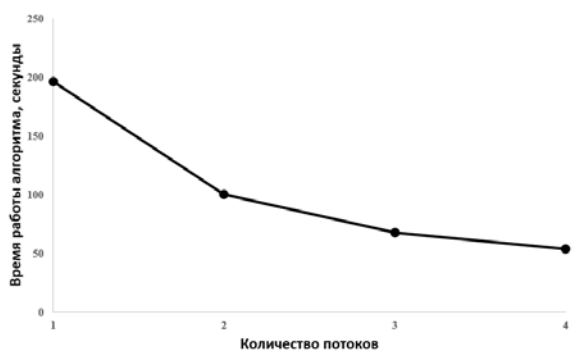


Рис. 3. Зависимость времени работы алгоритма решения уравнения теплопроводности от количества потоков.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И МОДЕЛИРОВАНИЯ

В результате решения уравнения теплопроводности получается распределение температуры по пластине адсорбера. На рис. 4 показано типичное трехмерное распределение температуры при расположении теплообменной трубы коллектора по центру ребра в некоторый момент времени.

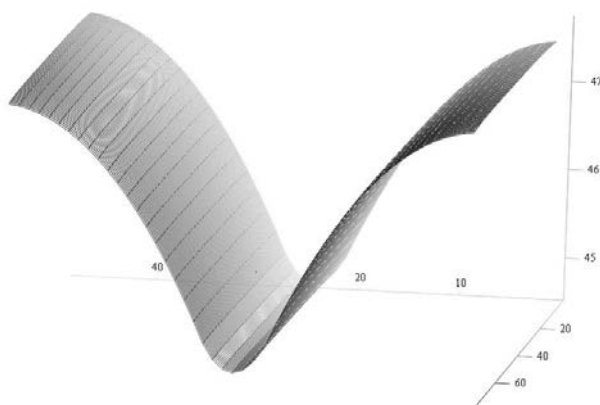


Рис. 4. Распределение температуры по поверхности пластины адсорбера

Испытания коллектора проводились весной и летом 2015 г. На рис. 5 и рис. 6 представлено сравнение эксперимента с расчетами, согласно приведенной математической модели, на вход которой подавались данные экспериментального измерения потока солнечной радиации и температуры окружающего воздуха. В качестве начальных условий принимались реальные температуры адсорбера и бака-аккумулятора в данный день. При этом 30.08.2015 коллектор работал без остекления, а 24.07.2015 – с остеклением.

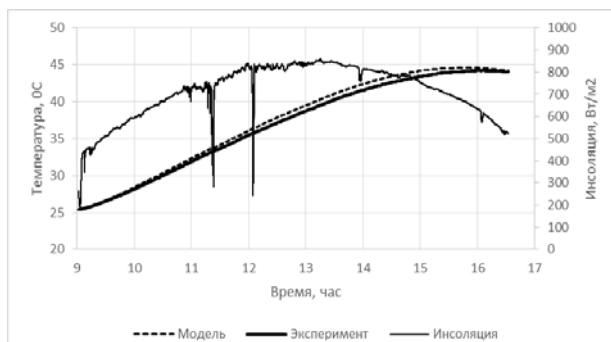


Рис. 5. Динамика температуры коллектора по результатам расчетов и в эксперименте (30.08.2015 г). Динамика солнечного излучения.

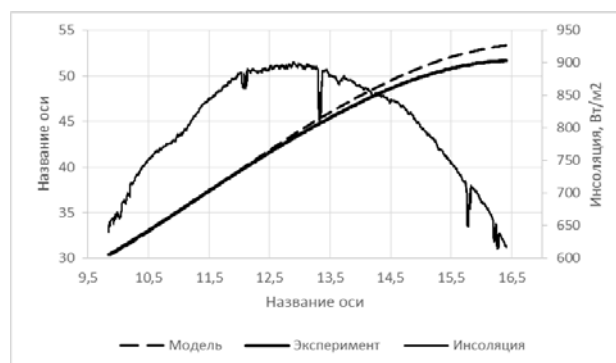


Рис. 6. Динамика температуры коллектора по результатам расчетов и в эксперименте (24.07.2015 г). Динамика солнечного излучения

Из графиков видно, что математическая модель адекватно описывает физические процессы в солнечном коллекторе как с теплоизоляцией, так и без нее. В целом, наблюдается небольшая переоценка температуры в баке-аккумуляторе что связано, по всей видимости, с недостаточно точным учетом конвективной теплоотдачи в условиях небольшого ветра.

Отклонения реальной и расчетной температуры в баке представлены на рис. 7. При наличии практически безветренной погоды отклонения не превышают  $2^{\circ}\text{C}$ .

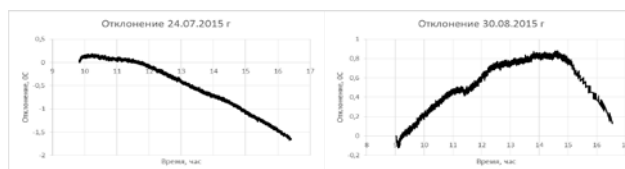


Рис. 7. Динамика отклонений расчетной и реальной температуры в баке-аккумуляторе

В программе обработки предусмотрена возможность определения интегральных характеристик коллектора на часовых интервалах. Результаты определения КПД приведены на рис. 8.

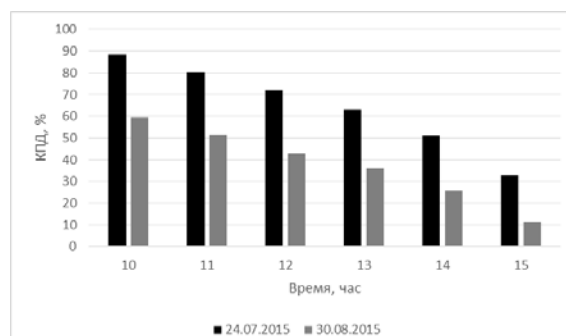


Рис. 8. Динамика КПД коллектора при наличии или отсутствии остекления

Видно, что по мере нагрева адсорбера и теплоносителя в баке КПД практически линейно уменьшается. Наличие остекления приводит к существенному увеличению КПД при любых

рабочих температурах коллектора. Увеличение для данного коллектора составляет от 21 до 30%. В данной экспериментальной установке отсутствует отбор полезной энергии из бака. В реальном использовании, при наличии такого отбора потребителями температура бака-аккумулятора будет находиться на более низком уровне, что приведет к соответствующему увеличению КПД.

Процессы преобразования солнечной энергии в коллекторе непосредственно зависят не от времени суток, а от плотности потока солнечного излучения и температуры окружающего воздуха. В связи с этим целесообразно исследовать эффективность коллектора, определяя его КПД как функцию собственной, внешней температуры и инсоляции за рассматриваемый интервал времени  $\eta = \eta \left( \frac{\bar{T}_o - \bar{T}_e}{G} \right)$ ,

где  $\bar{T}$  – средняя температура воды в баке,  $\bar{T}_e$  – средняя температура воздуха,  $G$  – общая инсоляция коллектора за интервал. Соответствующий график, построенный по нескольким экспериментальным дням приведен на рис. 9.

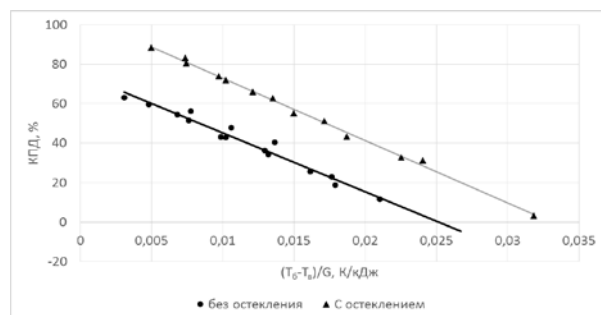


Рис. 9. Эффективность остекления при сравнимых условиях работы коллектора

Скорость изменения эффективности практически не зависит от наличия остекления. Его преимущество в сравнимых условиях эксплуатации составляет от 20 до 30%. Формальный переход КПД в зону отрицательных значений означает, что энергия из бака-аккумулятора начинает передаваться окружающей среде, при этом адсорбер коллектора начинает играть роль радиатора. Из рис. 9 видно, что для коллектора с остеклением этот момент наступает, при прочих равных параметрах, при более высокой температуре в баке-аккумуляторе. Экспериментальное исследование эффективности остекления подтверждается данными математического моделирования.

## ВЫВОДЫ

Приведенная математическая модель коллектора солнечного излучения позволяет

рассчитать распределение температуры по поверхности пластины адсорбера, прозрачного остекления и температуру в баке-аккумуляторе в любой момент времени. Модель легко обобщается на случай нескольких теплообменных труб или змеевика, прикрепленных к пластине адсорбера. Для этого достаточно переопределить функцию  $S(x, y)$  в (3), соответствующую новому расположению труб и решить несколько уравнений (9) для каждой трубы соответственно. Сравнение результатов расчетов с экспериментом позволяет говорить об адекватном представлении моделью тепловых процессов в солнечном коллекторе. По результатам экспериментов можно сделать вывод о том, что наличие однослойного прозрачного остекления приводит к увеличению эффективности коллектора от 20 до 30%.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Введение в теорию разностных схем. / Самарский А. А. – Москва: Наука, 1971. – 553 с.
2. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. / Даффи Д. А., Бекман У. А. – Москва.: Мир, 1977. – 410 с.
3. Справочник по теплопередаче. / Кутателадзе С. С., Боришанский В. М. – Ленинград: Госэнергоиздат, 1958. – 414 с.
4. Возобновляемые источники энергии. / Твайдел Д., Уэйр А. – М: Энергоатомиздат, 1990. – 392 с.
5. Hollands K. G. T., Unny T. E., Raithby G. D., Konichek L. Free convective heat transfer across inclined air layers // International journal of Heat and Mass Transfer. – 1976. – V. 98. – P. 189-193.
6. Основы теплопередачи. / Михеев М. А., Михеева И. М. – 2-е, стереотип. изд. – Москва: Энергия, 1977. – 344 с.
7. Каркач Д. В. Расчет инсоляции и определение оптимальной пространственной ориентации гелиоприемника // Строительство и техногенная безопасность. – 2013. – Т. 44. – С. 107-115.

## REFERENCES

1. Introduction to the theory of difference schemes. / Samara A. A.-Moscow: Science, 1971. - 553 p.
2. Thermal processes using solar energy. / Duffy D. A., Beckman W. A. – Moscow.: World, 1977. - 410 p.
3. Handbook of heat transfer. / Kutateladze S. S., Borishansky V.M.-Leningrad: Gosenergoizdat, 1958. - 414 p.
4. Renewable energy source. / Tvyadell D., Weir A.-M: Ergoatomizdat, 1990. - 392 p.
5. Hollands K. G. T., Uni T. E., Raithby G. D., Konichek L. free convective heat transfer across included air lawyers // International journal of Heat and Mass Transfer. 1976. - V. 98. - P. 189-193.

6. Fundamentals of heat transfer. / Mikheev M. A., Mikheeva I. M. – 2nd ed. ed. - Moscow: Energy, 1977. - 344 p.

7. Karcach, D. V. Calculation of insolation and to determine the optimal spatial orientation of suntrap // Construction and technogenic safety. - 2013. - Т. 44. - С. 107-115.

## TWO-DETERMESIONAL MODEL OF THERMAL PROCESSES IN A SOLAR COLLECTOR AND ITS EXPERIMENTAL VERIFICATION

Bekirov E.A., Karkach D.V.

**Summary:** A mathematical model of a flat solar collector is Constructed on the basis of a two-dimensional heat equation. A multi-threaded algorithm for solving the two-dimensional heat equation by the method of deflection is developed, its scalability is investigated. A program for solving the equations of the model is created, which allows to supply the real solar radiation flux and ambient temperature to the algorithm input. A full-scale experiment was carried out, in which, in particular, the effect of transparent glazing on the efficiency of the collector was investigated. The numerical solution of differential equations of the model is carried out and the dynamics of the adsorber plate temperature and the coolant temperature in the heat exchanger tube and the storage tank are investigated. It is established that the mathematical model adequately reflects thermal processes in a solar collector and gives deviations from experimental temperatures no more than 20C. It is shown that the presence of single-layer transparent glazing leads to an increase in the efficiency of the collector from 20 to 30 %.

**Keywords:** mathematical modeling, heat conduction equation, solar collector, run method.



## ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ОТРАБОТАННЫХ СВИНЦОВО-КИСЛЫХ АККУМУЛЯТОРОВ В БОРФТОРИСТОВОДОРОДНОМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ

Сердюк А.И. , Ялалова М.

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

“Донбасская национальная академия строительства и архитектуры”

кафедра “Техносферная безопасность”, 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2,

ecoalserdiuk@rambler.ru

yalalova-rita@mail.ru

**Аннотация.** Определен состав выбросов в атмосферный воздух для борфтористоводородного электролита, используемого при переработке отработанных свинцово-кислых аккумуляторов. Выведена количественная зависимость содержания фторидов и соединений свинца в выбросах от концентрации борфтористоводородной кислоты в диапазоне 20-200 г/л и ее соли - 30-200 г/л. Показано, что выбросы свинца составляют всего лишь 1-12 % от общих выбросов в окружающую среду, а наличие фторидов в выбросах на 88-99 % обусловлено содержанием фторсодержащей кислоты в составе электролита. С учетом количества выбросов и токсичности продуктов разложения показано, что выбросы кремнийфтористоводородной кислоты более опасны (в 19 раз) по сравнению с борфтористоводородной кислотой.

**Ключевые слова:** безопасность, свинцово-кислые аккумуляторы, борфтористоводородный электролит, фториды, соединения свинца.

### ВВЕДЕНИЕ

Аккумуляторная промышленность – один наиболее крупных потребителей свинца. Свинец возвращается в качестве лома металла от утилизации и переработки отслуживших свой срок батарей. Электрохимическая переработка отработанных свинцово-кислотных аккумуляторов (ОСКА), принятая на вооружение в Италии, Канаде и Германии [1] характеризуется технологическими и экологическими преимуществами перед пирометаллургическим способом и является перспективной ввиду ужесточения экологических требований к переработке аккумуляторных батарей.

Процесс электрохимической переработки сопровождается гораздо меньшими выбросами свинца в атмосферу: при металлургическом способе выброс свинца в виде пыли составляет 2 кг/т, при электрохимическом в виде аэрозоля — 0,01 кг/т [2].

Суммарные выбросы свинца в атмосферу семи аккумуляторных заводов, находящихся на территории России, в 1995 году оценивались в

38200 кг, а суммарные выбросы свинца в водоемы (через канализацию) — 35300 кг [3].

Для электролитического выделения свинца было предложено много различных электролитов — кислых, щелочных, комплексных. Из них значительное промышленное применение, в основном, получили борфтористоводородные и кремнийфтористоводородные [4], в том числе и для переработки ОСКА.

Главными преимуществами борфтористоводородных электролитов являются: большая растворимость солей осаждающихся металлов (в том числе и свинца), высокая устойчивость растворов; плотная мелкокристаллическая структура осадков при высоких плотностях тока, значительно превосходящих обычные электролиты (например, при осаждении в сернокислых электролитах).

Борфтористоводородная кислота повышает электропроводность раствора, практически не влияя на состав сплава, уменьшает разрастание покрытия, измельчает зерно сплава, увеличивает стойкость к гидролизу солей металлов. Наличие в

электролите борной кислоты, повышающей его буферную емкость, также препятствует гидролизу солей металлов, который вызывает потери их ионов, загрязняет электролит взвешенными частицами [5].

Борфтористоводородная кислота или тетрафтороборная кислота токсична и пожаровзрывобезопасна.

Борфтористоводородная кислота разлагается под воздействием высоких температур – 90°C, кремнийфтористоводородная кислота разлагается при более низкой температуре – 83,6 °C с выделением токсичных веществ [5].

Борфтористоводородный электролит используется при электрохимической переработке ОСКА [6].

Широкое применение электрохимическая переработка ОСКА с применением борфтористоводородных и кремнийфтористоводородных электролитов не получила по двум причинам:

1. низкой скорости процесса;
2. токсичности выбросов вредных веществ с поверхности электролита в рабочей зоне.

Скорость процесса электрохимической переработки повышают введением в состав электролита специально подобранных поверхностно-активных веществ (ПАВ) [7].

Задачей настоящего исследования является количественное определение выбросов фторидов и соединений свинца, как наиболее токсичных, с поверхности борфтористоводородных электролитов в зависимости от их состава.

Цель работы – изучить выбросы соединений фторидов и свинца с поверхности борфтористоводородного электролита для переработки отработанных автомобильных аккумуляторных батарей.

Для определения содержания газообразных фторидов с зеркала электролита использовали методику [8], в которой растворы из поглотительных приборов анализируют фотометрическим методом, заключающимся во взаимодействии пурпурного ализаринкомплексоната лантана с фторид-ионами, в результате чего образуется соединение синего цвета.

Метод определения выбросов свинца с поверхности электролита основан на взаимодействии ионов свинца с сульфарсазеном и

фотометрическом определении окрашенных растворов в желто-оранжевый цвет [9].

Суммарная погрешность измерения обеих методик составляла ±25 %.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Наиболее токсичными компонентами отходящих газов фторсодержащих электролитов являются соединения фтора — фтористый водород, трехфтористый бор и четырехфтористый кремний, а также соединения свинца. Их улавливание из газов необходимо не только для защиты воздушного бассейна от загрязнения, но и для последующей утилизации, поскольку фтор, свинец и их соединения широко применяются в автомобильном хозяйстве [10].

Большое значение для оценки состояния безопасности труда в гальванических цехах имеет характеристика воздушной среды в отделении приготовления электролитов, где всегда отмечаются высокие концентрации пыли и паров токсических веществ, особенно во время растаривания материалов, дозировки и приготовления растворов.

Воздушная среда отделений гальванопокрований отражает характер технологического процесса.

И. Б. Шаган [11] считает выделение и обнаружение электролита в воздушной среде результатом не только его уноса, но и испарения, что особенно характерно для промывочных ванн, не находящихся под током, а также для технологического оборудования подобного рода, например, ванн химического никелирования при температуре рабочего раствора, превышающей 30-40°C.

Исследования [12] воздушной среды производственных помещений при процессах подготовки поверхности показали, что процессы травления и электрохимической обработки сопровождаются иногда выделением паров кислот и щелочей в концентрациях, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК).

В работе [13] указано выделение свинца борфтористоводородного при свинцевании в борфтористоводородном электролите в количестве 0,396 г/(м<sup>2</sup>·ч).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для приготовления электролита в борфтористоводородную кислоту вводят рассчитанное количества окиси свинца или углекислого свинца, а также борной кислоты. Полученный раствор борфтористоводородного свинца декантируют в рабочую ванну, доводят водой до заданного уровня и добавляют столярный клей, предварительно замоченный в воде [14].

Изучено влияние концентрации борфтористоводородной кислоты в составе электролита на выбросы фторидов с его поверхности. В качестве электролита использовали водный раствор, состоящий из борной кислоты 30

г/л, свинцовой соли борфтористоводородной кислоты 100 г/л, свободной борфтористоводородной кислоты от 20 до 200 г/л. В качестве поверхностно-активного вещества применяли столярный клей концентрацией 0,5-1,0 г/л. Температура электролита – 25 °С. В качестве анода использовали специально обработанную ячейку отработанного аккумулятора [15]. Катодом служила свинцовая пластинка. Катодная плотность тока составляла 100 А/м<sup>2</sup>.

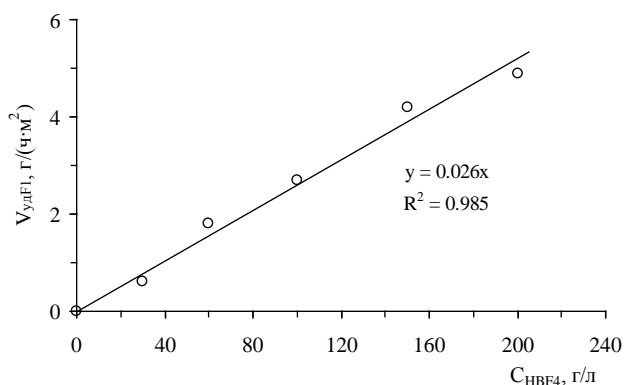
Данные измерений удельного количества фторидов в зависимости от концентрации борфтористоводородной кислоты, выделяющихся с поверхности электролитов, представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Зависимость удельного количества фторидов ( $V_{удF1}$ ) от концентрации борфтористоводородной кислоты ( $C_{HBF4}$ ) в электролите

**Table 1.** Dependence of the specific amount of fluorides ( $V_{spF1}$ ) on the concentration of borofluoric acid ( $C_{HBF4}$ ) in the electrolyte

$C_{HBF4}$ , г/л	0	30	60	100	150	200
$V_{удF1}$ , г/(ч·м <sup>2</sup> )	0	0,6	1,8	2,7	4,2	4,9

Графическая зависимость выбросов от концентрации борфтористоводородной кислоты приведена на рисунке 1.



**Рис. 1.** Зависимость удельного количества фторидов ( $V_{удF1}$ ), выделяющихся с поверхности электролитов, от концентрации борфтористоводородной кислоты ( $C_{HBF4}$ ) в них

**Fig. 1.** The dependence of the specific amount of fluorides ( $V_{spF1}$ ), released from the surface of electrolytes on the concentration of borofluoric acid ( $C_{HBF4}$ ) in them

По методу наименьших квадратов рассмотрели зависимость выбросов фторидов ( $V_{удF1}$ ) от концентрации борфтористоводородной кислоты ( $C_{HBF4}$ ) в электролите (рис.1), которая описывается следующим уравнением:

$$V_{удF1} = 0,026 \times C_{HBF4} \quad (1)$$

где  $C_{HBF4}$  – концентрация борфтористоводородной кислоты в электролите (по фтору), г/л.

Аналогичная зависимость получена при других постоянных концентрациях соли свинца в выше приведенном электролите равных 40, 80, 150 и 200 г/л.

Полученное уравнение 1 аналогично закону Генри [16]: концентрация газа в газовой фазе прямо пропорциональна его концентрации в жидкой (водной) фазе, с которой газовая фаза находится в равновесии. Коэффициент пропорциональности – константа Генри ( $K_r$ ). Она, в данном случае, равна  $0,026 \text{ мг}_F \cdot \text{дм}^3_{\text{р-ра}} / (\text{с} \cdot \text{м}^2_{\text{поверх}} \cdot \Gamma_{\text{HBF}_4})$ .

Но борфтористоводородная и кремнийфтористоводородная кислоты существуют только в водном растворе, в газовой фазе они, в основном, разлагаются на фтористый водород и трифторид бора (борфтористоводородная кислота) и на фтористый водород и тетрафторид кремния (кремнийфтористоводородная кислота). Поэтому равновесие реакции:  $\text{HBF}_4 (\text{ж}) \leftrightarrow \text{HBF}_4 (\text{г})$  будет сдвигаться в сторону выделения газовых продуктов –  $\text{HF}$  и  $\text{BF}_3$ .

Измеряли количество выбросов фторидов с поверхности электролита при постоянной концентрации борфтористоводородной кислоты, равной 35 г/л и переменной концентрации соли свинца (по свинцу) от 20 до 200 г/л. Рассчитывали разницу выбросов фторидов ( $V_{\text{уд F}_2}$ ) за счет соли свинца, с одной стороны, и борфтористоводородной кислоты с концентрацией равной 35 г/л, с другой. Температура электролита – 25 °С. В качестве анода использовали специально обработанную ячейку отработанного аккумулятора [15, 17]. Катодом служила свинцовая пластинка. Катодная плотность тока составляла  $100 \text{ А/м}^2$ .

Результаты измерения количества фторидов, выделяющихся с зеркала электролитов с разным содержанием соли свинца в них при одинаковой катодной плотности тока представлены в таблице 2.

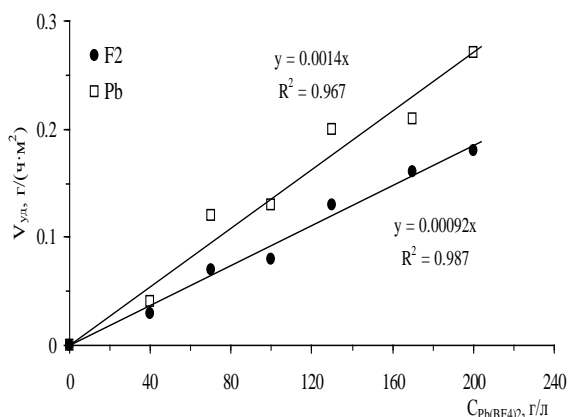
**Таблица 2.** Удельное количество фторидов ( $V_{\text{уд F}}$ ) и свинца ( $V_{\text{уд Pb}}$ ), выделяющихся с поверхности электролитов, при разной концентрации соли свинца ( $C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2}$ ) в них

**Table 2.** The specific amount of fluoride ( $V_{\text{sp F}}$ ) and lead ( $V_{\text{sp Pb}}$ ), isolated from the surface of electrolytes, at different concentrations of lead salt ( $C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2}$ ) in them

$C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2}$ , г/л	0	40	70	100	130	170	200
$V_{\text{уд F}_2}$ , г/(ч·м <sup>2</sup> )	0	0,03	0,07	0,08	0,13	0,16	0,18
$V_{\text{уд Pb}}$ , г/(ч·м <sup>2</sup> )	0	0,04	0,12	0,13	0,20	0,21	0,27

$$\sum V = V_{\text{уд F}_1} + V_{\text{уд F}_2} + V_{\text{уд Pb}} = 0,0026 \times C_{\text{HBF}_4} + 0,00092 \times C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2} + 0,0014 \times C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2} \quad (4)$$

Построена зависимость выбросов фторидов ( $V_{\text{уд F}}$ ) и свинца ( $V_{\text{уд Pb}}$ ) от концентрации соли свинца ( $C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2}$ ) в электролите, которая представлена на рисунке 2.



**Рис. 2.** Удельное количество фторидов ( $V_{\text{уд F}}$ ) и свинца ( $V_{\text{уд Pb}}$ ), выделяющихся с поверхности электролитов, при разной концентрации соли свинца ( $C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2}$ ) в них

**Fig. 2.** The specific amount of fluorides ( $V_{\text{sp F}}$ ) and lead ( $V_{\text{sp Pb}}$ ), liberated from the surface of electrolytes, at different concentrations of lead salt ( $C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2}$ ) in them

По методу наименьших квадратов рассчитали зависимость выбросов фторидов ( $V_{\text{уд F}}$ ) и свинца ( $V_{\text{уд Pb}}$ ) при разной концентрации соли свинца ( $C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2}$ ) в электролите (рис.2), которая описывается уравнениями:

$$V_{\text{уд F}_2} = 0,00092 \times C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2} \quad (2)$$

$$V_{\text{уд Pb}} = 0,0014 \times C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2} \quad (3)$$

где  $C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2}$  – концентрация соли свинца в электролите (по свинцу), г/л.

Аналогичная зависимость получена при других постоянных концентрациях соли борфтористоводородной кислоты в выше приведенном электролите равных 20, 60, 150 и 200 г/л.

Суммарные удельные выбросы фторидов и свинца с поверхности борфтористоводородного электролита ( $\sum V$ ) рассчитываются по следующей формуле:

Наличие в выбросах фторидов можно объяснить двумя факторами. Первый – испарение с поверхности электролита борфтористоводородной кислоты. Второй - выделение газовых пузырьков, состоящих из водорода и кислорода, как продуктов гидролиза воды, и унос ими всех составляющих электролита, то есть борфтористоводородной кислоты и ее свинцовой соли. При данных условиях эксперимента визуально не замечено выделение газовых пузырьков с поверхности электролита. Поэтому можно предположить, что основная масса фторидов в выбросах обусловлена испарением с поверхности электролитов борфтористоводородной кислоты, которая захватывает в виде аэрозоля ее свинцовую соль.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Рассчитаем выбросы фторидов и свинца (таблица 4) на примере двух наиболее распространенных составов электролитов (таблица 3), которые используются при свинцевании, электрорафинировании свинца и переработки свинцово-кислотных аккумуляторов.

Таблица 3. Составы электролитов и режимы работы электролиза

Table 3. Electrolyte compositions and electrolysis operation modes

№ п/п	Компоненты электролитов и режимы их работы	Состав электролитов, г/л	
		1	2
1	Pb(BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	40	180-200
2	HBF <sub>4</sub>	180	40-45
3	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	30	
4	Столярный клей	0,5-1,0	
5	Температура, °С	15-25	
6	Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	1	
7	Скорость осаждения, мкм/мин	0,5-2,0	
8	Ссылка на источник описания	[17]	[18]

Анализируя данные приведенные в таблице 4, следует отметить, что выбросы фторидов в составе электролита 1 на 99% обусловлены наличием в составе электролита борфтористоводородной кислоты, а электролита 2 приблизительно на 88%. Свинцовая соль дает выбросы фторидов в количестве 1-12%. В общей сумме токсичных выбросов в основном преобладают фториды. Первый электролит в 3,5 раза более токсичен по сравнению со вторым электролитом. Таким образом, из большого разнообразия составов электролитов можно выделить электролиты,

которые выбрасывают в воздух значительно меньше вредных веществ.

Таблица 4. Удельные выбросы фторидов и свинца с зеркала электролитов

Table 4. Specific emissions of fluorides and lead from the surface of electrolytes

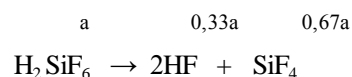
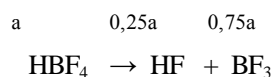
№ п/п	Состав выбросов	Удельный выброс, V <sub>уд</sub> , мг/(с·м <sup>3</sup> )	
		1	2
1	Фториды (F <sub>1</sub> )	4,04(99%)	0,89(90%)-1,01(91%)
2	Фториды(F <sub>2</sub> )	0,02(1%)	0,09(10%)-0,1(9%)
3	Фториды (ΣF)	4,06	0,98-1,11
4	Свинец	0,03	0,14-0,15
Сумма токсичных выбросов		4,09	1,12-1,26
Доля фторидов в выбросах, %		99	88

Суммарные выбросы фторидов и свинца в кремнийфтористоводородном электролите [19] получены аналогичным способом и имеют следующий вид:

$$\sum V = V_{\text{уд}F_1} + V_{\text{уд}F_2} + V_{\text{уд}Pb} = 0,31 \times C_F + 0,007 \times C_{Pb} + 0,01 \times C_{Pb} \quad (5)$$

Анализируя уравнения (4 и 5), можно сказать, что сумма токсичных выбросов фторидов и свинца с поверхности борфтористоводородного электролита, в среднем, на порядок ниже (11-12 раз), чем для кремнийфтористоводородного электролита. Это, в основном, можно объяснить меньшим испарением с поверхности электролита борфтористоводородной кислоты по сравнению с кремнийфтористоводородной кислотой.

В газовой фазе при нормальных условиях борфтористоводородная кислота разлагается с выделением фтористого водорода и трехфтористого бора, а кремнийфтористоводородная кислота разлагается на фтористый водород и четырехфтористый кремний



Для определения токсичности продуктов разложения данных кислот рассчитаны суммы долей ПДК фтористого водорода и трехфтористого бора. ПДК взяты максимально разовые в рабочей зоне [20]. Концентрацию борфтористоводородной кислоты (по фтору) и кремнийфтористоводородной кислоты (по фтору) принимаем равной  $a$ . Тогда, для борфтористоводородной кислоты:

$$\sum \frac{C}{\text{ПДК}_{\text{рз}}} = \frac{C_{\text{HF}}}{\text{ПДК}_{\text{рзHF}}} + \frac{C_{\text{BF}_3}}{\text{ПДК}_{\text{рзBF}_3}} = \frac{0,25a}{0,5} + \frac{0,75a}{1} = 1,25a \quad (6)$$

Для кремнийфтористоводородной кислоты:

$$\sum \partial \text{ПДК} = \frac{C_{\text{HF}}}{\text{ПДК}_{\text{рзHF}}} + \frac{C_{\text{SiF}_4}}{\text{ПДК}_{\text{рзSiF}_4}} = \frac{0,33a}{0,5} + \frac{0,67a}{0,5} = 2a \quad (7)$$

Продукты разложения кремнийфтористоводородной кислоты более токсичны продуктов разложения борфтористоводородной кислоты в  $2a/1,25a=1,6$  раз.

С учетом количества выбросов и токсичности продуктов разложения кремнийфтористоводородная кислота будет в 19 раз более опасна, чем борфтористоводородная кислота, т.е.  $n=1,6 \times 12=19,2$  р.

## ВЫВОДЫ

Следовательно, можно сделать вывод, что с целью уменьшения количества и токсичности выбросов борфтористоводородные электролиты, могут заменять более токсичные кремнийфтористоводородные. Они в меньшей степени загрязняют воздух вредными соединениями и не вызывают потребности в мощной вентиляции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. H. Vode. Lead-acid batteries. Wiley: John wiley and sons, New York, USA, 1977. pp. 13-16.
2. Гальванические покрытия в машиностроении. Справочник / В.И. Игнатьев, Н.С. Ионычева, А.В. Марейчев и др. / Под общ. ред. М.А. Шлугера. М.: Машиностроение, Т. 1. 1985. 240 с.
3. Морачевский А.Г., Вайсгант З.И. Применение электрохимических методов в технологии производства вторичного свинца // Журнал прикладной химии. 1993. Т. 66. Вып. 1. С.55-60.
4. Гамбург Ю.Д. Гальванические покрытия. Справочник по применению. М.: Техносфера, 2006. 216 с.
5. Дикусар А.И. Основы электрохимии и электрохимических технологий. Учеб. пособие /

А.И. Дикусар, Ж.И. Бабанова, С.П. Ющенко. Тирасполь: Изд-во ун-та, 2005. 187 с.

6. M. Maja, N. Penazzi, M. Baundino, M. Ginatta. Recycling of the lead-acid. batteries: the Ginatta process. Journal of Power Sources .1990. V.31, pp. 287–294.

7. Белоусова, В.В. К вопросу о разработке экологически безопасной технологии переработки активной массы отработанных свинцово-кислотных аккумуляторов [Текст] / В.В. Белоусова, Я.А. Деменкова, А.И. Сердюк // II Межд. науч.-практ. конференция «Стратегические вопросы мировой науки-2007». Том 11/ под ред. С. В. Екимова. Днепропетровск: Наука и образование, 2007. С.52-54.

8. ПНД Ф 13.1.45-03 Количественный химический анализ атмосферного воздуха и выбросов в атмосферу. Методика выполнения измерений массовой концентрации фтористого водорода в пробах промышленных выбросов фотометрическим методом. Москва ФГУ «ФЦАМ МПР России». 2003. 18 с.

9. МУ 2013-79 Методические указания на фотометрическое определение свинца и его соединений в воздухе. М.: Минздрав СССР, 1979. 25 с.

10. Пидин Р.А. и др. Химические свойства неорганических веществ: Учеб. пособие для вузов. 3-е изд., испр. М.: Химия, 2000. 480 с.

11. Дамаскин, Б.Б. Электрохимия / Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. 3-е изд. М.: Лань, 2015. 670 с.

12. Миомандр Ф. Электрохимия / Ф. Миомандр, С. Салаки, П. Одебер. М.: Высшее образование, 2008. 360 с.

13. Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределение в воздухе. Справ. изд. М.: Химия, 1991. 368 с.

14. Н.Д.Иванова, С.В.Иванов, Е.И. Болдырев. Гальванотехника. Фторсодержащие электролиты и растворы / Справочник. Киев: «Наукова думка», 1993. 445 с.

15. Хрусталева Д.А. Аккумуляторы. М.: Изумруд, 2003. 224 с.

16. Батлер Д.Н. "Ионные равновесия". Пер. с англ., Изд-во "Химия", Л., 1973. 448 с.

17. Н.Н. Червонцева, Н.В. Исаева, А.И. Сердюк. Электролит для извлечения свинца из вторичного сырья на основе кремнефтористоводородной кислоты: пат. № 7416 Украина. 2005. Бюл. № 6. 8 с.

18. Грилихес, С. Я. Электролитические и химические покрытия. Теория и практика: учебник /

- С.Я. Грилихес, К.И. Тихонов.  
Л.: Химия. Ленинградское отделение, 1990. 288 с.
19. Сердюк А.И., Ялалова М.М. Повышение безопасности атмосферы при эксплуатации кремнефтористоводородного электролита для свинцевания // Вестник Института гражданской защиты Донбасса: науч. журнал. Донецк: ДонНТУ, 2017. № 1 (9). С. 27-33.
20. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны [Текст]: ГН 2.2.5.1313-03. Введ. 15.06.03. М.: Глав. госуудар. сан. врач РФ, 2003. 268 с.
- REFERENCES**
1. H. Bode. Lead-acid batteries. Wiley: John wiley and sons, New York, USA, 1977. pp. 13-16.
2. Galvanic coatings in mechanical engineering. Directory / V.I. Ignatiev, N.S. Ionycheva, A.V. Mareychev et al. / Under the general editorship of M.A. Schluger. M.: Mechanical Engineering, T. 1. 1985. 240 p.
3. Morachevsky A. G., Weissant Z.I. Application of electrochemical methods in the technology of secondary lead production // Journal of Applied Chemistry. 1993. T. 66. Issue 1. P.55-60.
4. Hamburg Y.D. Galvanic coating. The reference book on application. M.: Technosphere, 2006. 216 p.
5. Dikusar A.I. Fundamentals of electrochemistry and electrochemical technologies. Textbook / A. I. Dicusar, J.I. Babanova, S.P. Yushchenko. Tiraspol: University Press, 2005. 187 p.
6. M. Maja, N. Penazzi, M. Baundino, M. Ginatta. Recycling of the lead-acid. batteries: the Ginatta process. Journal of Power Sources .1990. V.31, pp. 287–294.
7. Belousova, V.V. On the issue of the development of environmentally safe technology for processing the active mass of lead-acid batteries used for waste disposal [Text] / V.V. Belousova, Ya.A. Demenkova, A.I. Serdyuk // II International Scientific and Practical Conference "Strategic Issues of World Science 2007". Volume 11 / Ed. S.V. Ekimova. Dnipropetrovsk: Science and Education, 2007. P.52-54.
8. FER 13.1.45-03 Quantitative chemical analysis of air and emissions. Method of performing measurements in accordance with the state of the art. Moscow Federal State Institution FTSAM MNR of Russia. 2003. 18 pp.
9. Guidelines 2013-79 Methodological guidelines for the photometric determination of lead and its compounds in air. Moscow: Ministry of Health of the USSR, 1979. 25 p.
10. Pidin R.A. Chemical properties of inorganic substances: Textbook for high schools. 3rd ed., Rev. M.: Chemistry, 2000. 480 p.
11. Damaskin, B.B. Electrochemistry / Damaskin B.B., Petriy O.A., Tsirlina G.A. 3rd ed., Rev. M.: Lan, 2015. 670 p.
12. Myomander F. Electrochemistry / F. Myomander, S. Salaki, P. Obeber. M.: Higher Education, 2008. 360 p.
13. Tishchenko N.F. Protection of atmospheric air. Calculation of the content of harmful substances and their distribution in the air. Ref. ed. M.: Chemistry, 1991. 368 p.
14. N.D. Ivanova, S.V. Ivanov, E.I. Boldyrev. Electroplating. Fluorine-containing electrolytes and solutions/ Handbook. Kiev: "Naukova Dumka", 1993. 445 p.
15. Khrustalev D.A. Batteries. Moscow: Izumrud, 2003. 224 p.
16. Butler D.N. "Ionic Equilibrium." Translation from English, "Chemistry" Publishing House, Leningrad, 1973. 448 p.
17. N.N. Chervontseva, N.V. Isaeva, A.I. Serdyuk. Electrolyte for extraction of lead from secondary raw materials on the basis of fluorosilicic acid: pat. No. 7416 Ukraine. 2005. Bul. № 6. 8 p.
18. Griliches, S. Ya. Electrolytic and chemical coatings. Theory and practice: a textbook / S.Ya. Griliches, K.I. Tikhonov. L.: Chemistry. Leningrad Branch, 1990. 288 p.
19. Serdyuk A.I., Yalalova M.M. Improving the safety of the atmosphere during the operation of fluorosilicic acid electrolyte for lead // Herald of the Civil Defense Institute of Donbass: scientific journal. Donetsk: DonNTU, 2017. № 1 (9). pp. 27-33.
20. Maximum permissible concentration (MPC) of harmful substances in the air of the working area [Text]: GR 2.2.5.1313-03. Introduced 15.06.03. M.: Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation, 2003. 268 p.

ENHANCEMENT OF ENVIRONMENTAL SAFETY IN PROCESSING OF WORK OUT LEAD-  
ACID BATTERIES IN FLUOBORIC ELECTROLYTE

Serdyuk A.I., Yalalova M.

**SUMMARY** The composition of emissions into the atmospheric air for borofluoride electrolyte, used in the processing of waste lead-acid batteries. The quantitative dependence of the content of fluorides and lead compounds in emissions on the concentration of borofluoric acid in the range of 20-200 g/l and its salt - 30-200 g/l. It is shown that lead emissions make up only 1-12% of the total emissions to the environment, and the presence of fluorides in the emissions by 88-99% is due to the content of fluorine-containing acid in the electrolyte. Taking into account the amount of emissions and toxicity of the decomposition products, it is shown that the emissions of hydrofluoric acid are more dangerous (by 19 times) in comparison with borofluoric acid.

**Keywords:** safety, lead-acid batteries, fluoboric electrolyte, fluorides, lead compounds.

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ И СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ХВОСТОХРАНИЛИЩ КРУПНЫХ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ

Пустовитенко Б.Г., Скляр А.А., Останин А.М.

Институт сейсмологии и геодинамики ФГАОУ «КФУ им. В.И. Вернадского»

295001 РК г. Симферополь, ул. Студенческая, 3

e-mail: bpustovitenko@mail.ru

**Аннотация.** Проведено детальное исследование современного состояния сейсмических свойств грунтов и сейсмической опасности на территории размещения и длительной эксплуатации хвостохранилища Северного горно-обогатительного комбината в районе г. Кривой Рог. Установлена пространственная неоднородность изменившихся инженерно-геологических и сейсмических свойств грунтов на территории хвостохранилища. Уточненные прогнозные значения расчетной сейсмичности  $I_R$  для отдельных участков оказались различающимися до 2 баллов: от 5 до 7 баллов для проектного землетрясения (ПЗ) и от 6 до 8 баллов – для максимально расчетного землетрясения (МРЗ). Наибольшим прогнозным сейсмическим воздействиям может быть подвержены как само «тело» хвостохранилища, так и ограждающая его дамба, для которых ПЗ –  $I_R = 7$  баллов, а МРЗ –  $I_R = 8$  баллов. С использованием большого объема экспериментальных данных, полученных двумя методами сейсмического микрорайонирования (СМР): основного (взрывы) и вспомогательного (микросейсмы), показана хорошая сходимость результатов по оценке вариаций сейсмической интенсивности. Оба метода можно отнести к равноточным и равноправным при проведении работ по СМР.

**Ключевые слова:** хвостохранилище, сейсмическая опасность, взрывы, микросейсмы, сейсмическое микрорайонирование, инженерно-геологические условия.

### ВВЕДЕНИЕ

Хвостохранилища крупных горно-обогатительных комбинатов (ГОК) относятся к классу особо ответственных гидротехнических сооружений с повышенной экологической опасностью для населения и окружающей среды, повреждение или разрушение которых может привести к тяжелым экологическим и социально-экономическим последствиям. К числу основных факторов, оказывающих влияние на безопасность функционирования подобных объектов, являются сильные сейсмические воздействия, вызванные землетрясениями тектонической и техногенно-индуцированной природы.

На платформенной территории Украины в одном из крупных горнодобывающих районов г. Кривой Рог функционирует восемь хвостохранилищ, часть из которых эксплуатируется более 50 лет, например, Северный ГОК. Строительство хвостохранилищ, длительная их эксплуатация с расширением и постоянным наполнением отходов (хвостов),

наращивание ограждающих сооружений, приводит к изменению инженерно-геологических и сейсмических свойств грунтов, в частности, за счет повышенной обводненности. Эти изменения в свою очередь влияют на пространственные вариации сейсмических воздействий, вызванных сильными землетрясениями. В начале 21 столетия Отделом сейсмологии Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины (ныне институт сейсмологии и геодинамики ФГАОУ "Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского») были проведены полномасштабные комплексные исследования по уточнению сейсмической опасности территорий размещения основных ограждающих сооружений хвостового хозяйства и оборотного водоснабжения нескольких крупных Криворожских ГОК, включая Северный, для оценки современной устойчивости защитных сооружений к сейсмическим нагрузкам с учётом изменившихся локальных инженерно-геологических условий.

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью данной работы явилось обобщение полученного представительного объема экспериментальных данных по оценке современного состояния сейсмических свойств грунтов и сейсмической опасности территории хвостохранилищ на примере Северного ГОК [1]. При этом ставилась задача уделить основное внимание методическому аспекту по сравнительному анализу применения различных методов сейсмического микрорайонирования (СМР) в сложных и пространственно неоднородных условиях инженерно-геологических свойств грунтов на территории расположения объекта.

## УТОЧНЕНИЕ ИСХОДНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ТЕРРИТОРИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ХВОСТОХРАНИЛИЩА СЕВЕРНОГО ГОК В РАЙОНЕ Г. КРИВОЙ РОГ

Основную сейсмическую опасность для территории размещения хвостохранилищ Северного ГОК представляют подкоровые землетрясения, очаги которых расположены в области сочленения Восточных и Южных Карпат с Предкарпатским прогибом (зона Вранча), а также местные землетрясения, происходящие в пределах Украинского кристаллического щита в непосредственной близости к Северному ГОК [2].

Особенностью сильных землетрясений **зоны Вранча** является большая глубина очагов в

диапазоне  $h = 80-160$  км [3]. Сейсмические колебания в мантии затухают медленнее, чем в земной коре, вследствие этого, область разрушительных и ощутимых воздействий от Вранчевских землетрясений простирается на значительные расстояния. За второе тысячелетие в зоне Вранча произошло 35 разрушительных землетрясений с магнитудой  $M_w \approx 7.0$  и интенсивностью в эпицентре  $I_0 \approx 8.0$  баллов [4]. Сейсмические воздействия от землетрясений 1802 и 1940 гг в районе г. Кривой Рог, включая Северный ГОК, достигали 5 баллов [5, 6]. Сейсмический потенциал зоны Вранча, соответствует максимальной магнитуде  $M_w = 8.0$  [4, 7].

**Местные** землетрясения сравнительно слабые, их магнитуды не превышают значений  $M_w \leq 4,5$  [7]. При этом в связи с незначительной глубиной очагов ( $H = 5-10$  км) эпицентральные зоны охватывают небольшую площадь, а интенсивность сотрясений быстро уменьшается с увеличением расстояния. За последние 15 лет вблизи участка размещения хвостохранилища произошло четыре инструментально зарегистрированных тектонических землетрясения (21 мая 2001 г, 25 декабря 2007 г, 14 января 2011 и 23 июня 2013 г) в диапазоне магнитуд  $M_w = 3.7-4.5$ , с интенсивностью в эпицентральной зоне  $I_0 = 5-6$  баллов [8-10]. Последнее по времени наиболее сильное Криворожское землетрясение с  $M_w = 4,5$  и  $I_0 = 6$  баллов, произошло 23 июня 2013 г на расстоянии около 13 км от Северного ГОК и ощущалось на его территории с интенсивностью 3 балла [10].

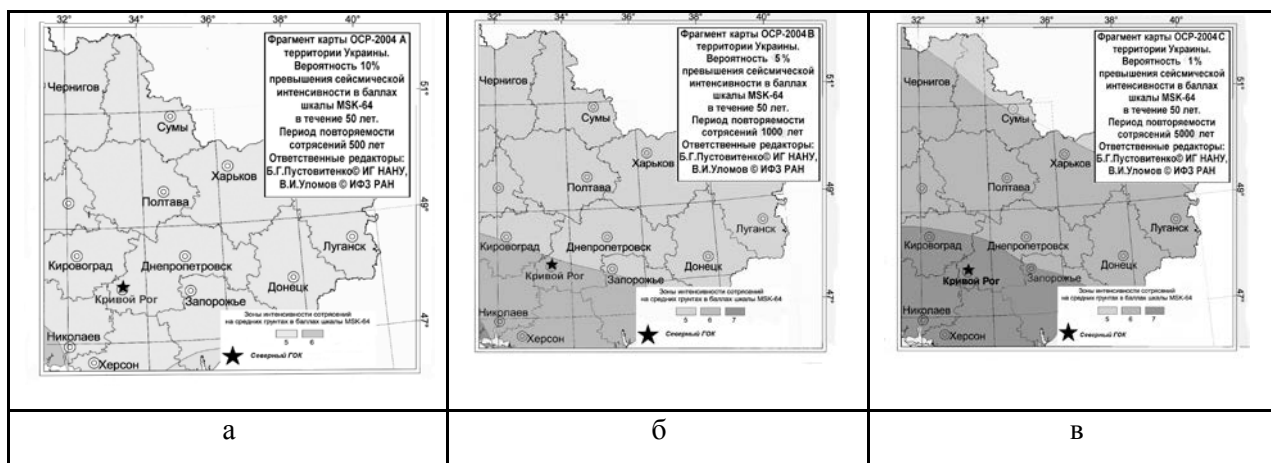


Рис.1. Фрагменты нормативных карт ОСР-2004 Украины для периодов повторяемости: 500 лет (а), 1000 лет (б) и 5000 лет (в), разработанных с детальностью 25 x 25 км [2, 11]

В соответствии с комплектом карт ОСР-2004 Украины [2, 11] нормативные значения сейсмических воздействий (исходная сейсмичность) для территории размещения

хвостохранилища Северного ГОКа для средних грунтовых условий составляют:  $I_0 = 5$  баллов для периода повторяемости  $T = 500$  лет и вероятности превышения указанной величины в течение 50

лет  $P = 10\%$ ;  $I_0 = 6$  баллов ( $T = 1000$  лет,  $P = 5\%$ );  $I_0 = 7$  баллов ( $T = 5000$  лет,  $P = 1\%$ ). При этом, для периода  $T = 1000$  лет (карта «В») территория хвостохранилища расположена на границе 7- и 6-балльных зон (рис.1). Карты ОСР разработаны в мелком масштабе (с детальностью 25 x 25 км).

Для ответственных и экологически опасных объектов указанные на мелкомасштабных картах ОСР значения нормативной (исходной) сейсмичности по требованиям нормативных документов [11] должны быть уточнены в рамках работ по сейсмическому микрорайонированию. Уточнение исходной сейсмичности проводится с учетом более детальной геолого-геофизической информации о местных и локальных

сейсмогенерирующих структурах и о параметрах сейсмических событий в исследуемом районе за последние годы.

Комплексный анализ геолого-геофизических, геодезических и сейсмологических данных по работам [12-17] позволил выделить внутри крупного домена с магнитудой  $M_{max}=4.0$  [2] местные сеймотектонические структуры вблизи г. Кривой Рог [18], которые отнесены к потенциально опасным зонам возможных очагов землетрясений (**ВОЗ**). Параметры моделей сейсмичности выделенных местных зон **ВОЗ** приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сейсмологические параметры местных потенциальных зон **ВОЗ** по работе [18]

№ п/п	Наименование разлома (структуры)	$\Pi$	$L$ , км	$L_p$ , км	$\Delta$ , км	$H_{min}$ , км	$M_{max}$
1.	Криворожско-Кременчугский	I	320	65	5	15	4.7
2.	Фрагмент Конкского разлома	II	360	53	11	12.5	4.5
3.	Фрагмент южной части Девладовской зоны разломов	III	185	45	56	11	4.4

Условные обозначения:  $\Pi$  - порядок разлома;  $L$  - общая протяженность разлома;  $L_p$  - длина очаговой или тектонически активной части разлома;  $\Delta$  - минимальное расстояние от потенциальной зоны **ВОЗ** до центра площадки хвостохранилища;  $H_{min}$  - минимальная глубина возникновения землетрясения;  $M_{max}$  - расчетная максимальная магнитуда.

С учетом новых данных о сеймотектонических особенностях и сейсмичности исследуемого района выполнены детальные расчеты прогнозной интенсивности по ячейкам с малыми размерами (2 x 2 км) и получена уточненная модель расчетной интенсивности с точностью до 0.01 балла по методике [2,19]. Обоснованность использования нецелочисленных значений при оценке сейсмической опасности дана в [20].

В результате уточненные значения нормативной сейсмичности для территории размещения Северного ГОК составили:  $I_0=5.48$  баллов для периода повторяемости  $T = 500$  лет;  $I_0 = 6.32$  баллов для периода повторяемости  $T = 1000$  лет;  $I_0 = 6.56$  баллов для периода повторяемости  $T = 5000$ ;  $I_0 = 6.65$  баллов для периода повторяемости  $T = 10000$  лет и

вероятностью превышения указанной величины в течение 50 лет  $P = 0,5\%$ .

Согласно [11, пункт 5.3 ] при расчете сейсмической устойчивости гидротехнических сооружений значения нормативной сейсмичности для периода повторяемости  $T = 500$  лет принимается в качестве проектного землетрясения (**ПЗ**), для периода повторяемости  $T = 5000$  лет – в качестве максимального расчетного землетрясения (**МРЗ**).

Полученные оценки исходной (нормативной) сейсмичности относятся к средней второй (II) категории грунтов по сейсмическим свойствам для всей территории Северного ГОКа. В зависимости от локальных вариаций сейсмических свойств грунта, усиливающих или ослабляющих сейсмические воздействия, исходная  $I_0$  изменяется на величину  $\Delta I$ , которая определяется методами СМР. Таким образом,

окончательная (расчетная)  $I_R$  сейсмическая опасность для отдельных площадок и оградительных сооружений хвостохранилища вычисляется как сумма  $I_R = I_0 + \Delta I$ .

## ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПЛОЩАДКИ ХВОСТОХРАНИЛИЩА СЕВЕРНОГО ГОК

**Сеоморфология.** Геоморфологически территория Криворожского Северного ГОКа приурочена к району Бугско-Ингулецкой скульптурной равнины Приднепровской возвышенности [21]. Район охватывает междуречье р. Ингульца и его левых притоков - рек Саксагань и Желтая. Эта территория осложнена многочисленными балками, в одной из которых - балке Петрикова и расположен объект исследований. Абсолютные отметки поверхности в районе хвостохранилища изменяются от 54,3 м (на границе уреза воды в р. Саксагань) до 135,0 м на водоразделе, а непосредственно в зоне хвостохранилища (до его устройства) составляли 90,7 - 135,0 м.

В районе хвостохранилища Северного ГОКа расположены три действующих карьера - два в непосредственной близости от хвостохранилища: на юго-западе - Первомайский, на западе - Анновский, и третий - ЦГОКа на значительном удалении к юго-западу (около 26 км) от объекта исследований (рис. 3).

На момент выполнения работ хвостохранилище имело размеры: по длине - 7 км, по ширине - 3,5 км, общая площадь около 25 км<sup>2</sup>. Отметки гребней ограждающих сооружений, при проектной отметке 161,0 м, достигали 147,5 - 153,0 м. При этом относительная максимальная высота плотины составляла 87,0 м.

**Тектоника.** В структурно-тектоническом отношении территория СевГОКа, железорудного Криворожского бассейна приурочена к железорудной Ингулецко-Саксаганской синклинали - одной из складок Криворожско-Кременчугского синклинория, входящего в Саксаганскую складчатую систему Центральной части Украинского кристаллического щита (УКЩ) [16]. К югу, в сторону Черноморской впадины, Криворожско-Кременчугский синклинорий, как и весь щит, опускается на значительную глубину, а на севере -

прослеживается в виде Кременчугской магнитной аномалии [22].

**Геологическое строение.** В геологическом разрезе изученной территории четко выделяются два структурных этажа: нижний - докембрийский кристаллический фундамент, сложенный комплексом интрузивных и метаморфических пород, и верхний - осадочный чехол из моноклинально субгоризонтально залегающих отложений палеогена и неогена, перекрытых четвертичными образованиями. В переходной зоне от кристаллического фундамента к осадочному чехлу четко прослеживается кора выветривания докембрийских пород [21].

**Докембрийские образования (AR-PR)** - комплекс метаморфических интрузивных пород представлен гранитами, мигматитами, пегматитами, песчаниками, наиболее метаморфизованные разности, которых переходят в кварциты, роговики, сланцы, джеспилиты и др. породы криворожской серии. Максимальная глубина залегания кровли докембрийских пород, по данным бурения, на водораздельной части - 62,6 м., минимальная - вплоть до выходов на дневную поверхность, - в долине реки Саксагань и в устьях выше упомянутых балок.

**Кора выветривания** метаморфических и интрузивных пород (**ePZ-KZ**) имеет повсеместное распространение в пределах всей изученной территории хвостохранилища и представлена первичными каолинами, переходящими вниз по разрезу в дресвяно-щебенисто-глыбовый материал - продукт разрушения интрузивных и метаморфических пород мощностью от 1,2 до 12,0 м.

**Отложения палеогена,** представлены песками и глинами олигоцена, сохранились только в понижениях палеорельефа. Глины от легких песчанистых до тяжелых, пески - разнозернистые (преимущественно пылеватые и мелкие), кварцево-глауконитовые мощностью от 0 до 19,8 м.

**Отложения неогена** распространены повсеместно, представлены: 1) песками мощностью от 1,0 до 16,5 м; 2) песками и супесями (в виде локальных линзовидных прослоев) мощностью до 2,5 м; и 3) нерасчлененными неоген-четвертичными (**N<sub>2</sub>-Q**) глинами красно-бурыми с включениями известковых и гипсовых стяжений, железисто-марганцевых и карбонатных образований мощностью от нескольких метров до 17,8 м.

**Четвертичные отложения (Q)** имеют практически повсеместное распространение, и отсутствует только в пониженных местах эрозионного вреза балок. Они представлены четырьмя типами: 1–лессовидные эолово-делювиальные суглинки; 2– аллювиально-делювиальные балочные отложения; 3– почвенно-растительный слой; 4 – техногенные грунты.

*Лессовидные эолово-делювиальные суглинки (vdP<sub>I-III</sub>)* плащеобразно перекрывает водораздельные пространства и значительную часть склонов балок. Мощность суглинков меняется от 1,0 м вблизи днища балок до 12,1 м. на водоразделах.

*Аллювиально-делювиальные балочные отложения (adP<sub>III-H</sub>)* представлены темно-серыми суглинками, глинами и песками мощностью от первых метров до 18,0 м.

*Почвенно-растительный слой* представлен суглинком темно-серым до черного, с содержанием корней растений, иногда с примесью песка и супеси мощностью 0,2 м - 1,2 м.

*Техногенные образования* классифицируются преимущественно как промышленные отходы. Они распространены в чаше хвостохранилища, в дамбах и отвалах.

Намывные грунты (хвосты) распространены повсеместно в чаше хвостохранилища и представлены преимущественно супесями, суглинками и песками без четко прослеживаемых закономерностей в накоплении шламового материала по гранулометрическому составу.

Насыпная скальная вскрыша слагает вторичные дамбы хвостохранилища и представлена преимущественно глыбами, щебнем, дресвой кварцитов.

Насыпные грунты первичной дамбы хвостохранилища представлены преимущественно уплотненными до плотности сухого грунта порядка 1,65 т/м<sup>3</sup> суглинками, в которых в виде отдельных прослоев мощностью до 1,5 м встречаются красно-бурые глины.

**Гидрогеологические условия.** Исследуемая территория в инженерно-гидрогеологическом отношении представляет собой сложную природно-техногенную систему. За последние 45 лет уровень грунтовых вод на отдельных участках хвостохранилища поднялся на 25,0 м. В пределах верхней 40-метровой толщи геологического разреза, принимаемой во внимание при

сейсмическом микрорайонировании (СМР) гидротехнических сооружений, выделяются 3 водоносных комплекса: 1 - водоносный комплекс техногенных, лессовидных, аллювиально-делювиальных и аллювиальных четвертичных отложений с водоупором неоген-плейстоценовых красно-бурых глин и тяжелых суглинков; 2 - водоносный комплекс неоген-палеогеновых отложений с водоупором толщи мергелистых глин и суглинков харьковской свиты; 3 - водоносный комплекс коры выветривания и верхней трещиноватой зоны кристаллических пород.

Первый от дневной поверхности водоносный комплекс, оказывающий основное влияние на вариации сейсмической интенсивности, располагается в толще техногенных, лессовидных, аллювиально-делювиальных и аллювиальных грунтов. До устройства комбината его уровень фиксировался на глубинах до 12-15 м (на водоразделах и склонах) и на 1,5 -2,5 м (в пойме реки). После устройства хвостохранилища уровень подземных вод начал резко подниматься и к 2010г зафиксирован в толще техногенных и лессовидных грунтов на глубинах от 0,8-2,5 м.

**Инженерно-геологические процессы и явления.** Для района характерны: плоскостная и глубинная водная эрозия, оползни, просадочность лессовидных грунтов.

Глубинная водная эрозия в настоящий период практически нейтрализована техногенной деятельностью человека.

Оползни фиксировались в бортах балки Петрикова в начальной стадии эксплуатации ее в качестве хвостохранилища. Позднее, после заполнения балки шламовыми массами, причин и предпосылок для развития природных оползней не стало. Однако, при последовательном наращивании дамб, высота хвостохранилища достигла значительных величин (25-35 м), что может привести к развитию оползневых процессов локального характера в дамбах хвостохранилища.

Просадочность грунтов лессовидной толщи наблюдается на подтопленных склонах и водоразделах. В настоящее время вследствие замачивания лессовидных грунтов произошло снижение их просадочных свойств, вплоть до полного исчезновения просадочности грунтов на отдельных участках.

**Районирование участка работ по сейсмическим свойствам грунтов.** Анализ приведенных выше данных по геологическому строению и инженерно-геологическим условиям участка размещения ограждающих сооружений хвостохранилища Северного ГОКа свидетельствуют о неоднородности данной территории по сейсмическим свойствам верхней 40-метровой толщи основания ограждающих

сооружений хвостохранилища. По принадлежности к различным геоморфологическим элементам, по геолого-генетическим признакам и физико-механическим свойствам грунтов в пределах территории проектируемой под строительство хвостохранилища площадью 25км<sup>2</sup> выделено 3 района и 6 участков с разной мощностью рыхлых отложений (рис.2).

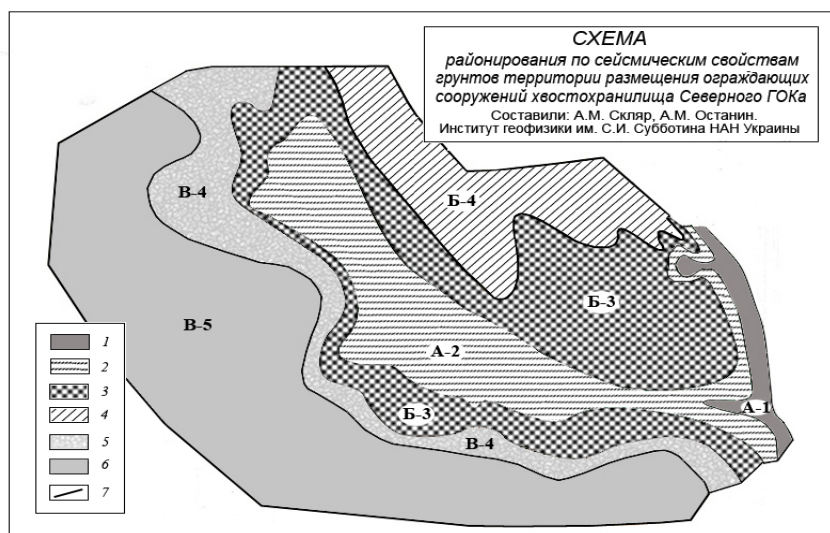


Рис.2. Схема районирования территории хвостохранилища Северного ГОК на период его проектирования (до обустройства ограждающих сооружений) по сейсмическим свойствам грунтов (I- III категории): 1, 2 – I; 3, 4 – II; 5, 6 – II- III; 7 – границы зон

**Район «А»** в геоморфологическом отношении охватывает днища балок Петрикова, в которой размещено хвостохранилище СевГОКа, и Брусова, ограничивающей хвостохранилище с востока. Для этой территории характерно неглубокое залегание гранитов, относящихся к грунтам I категории по сейсмическим свойствам и, соответственно, преобладание их по мощности в верхней 40-метровой толще, влияющей на расчетные показатели приращения сейсмической интенсивности. По мощности рыхлых отложений *H*, перекрывающих граниты в пределах района, выделены 2 участка: **А-1** – с мощностью рыхлых отложений до 10 м и **А-2** – с мощностью *H* от 10 до 20м. В целом, рассмотренный разрез в пределах днища балок в интервале 0,0-40,0 м характеризуется преобладанием по мощности грунтов I категории по сейсмическим свойствам

**Район «Б»** охватывает значительную часть территории хвостохранилища, включая междуречье балок Петрикова и Брусова, а также нижнюю часть правого борта б. Петрикова.

Характеризуется преобладанием в геологическом разрезе (до глубины 40м) грунтов II категории по сейсмическим свойствам. По отношению к базису эрозии – р. Саксагань, район «Б» является нагорной частью территории наименее подверженной замачиванию и подтоплению грунтов. В пределах района «Б» по мощности песчано-глинистых отложений, перекрывающих граниты, выделены участки: **Б-3** – с мощностью *H* от 20 до 30м, и **Б-4** – с *H* от 30 до 40м. В целом, геологический разрез района «Б» до глубины 40м сложен преимущественно грунтами II категории

**Район «В»** геоморфологически относится к правому борту балки Петрикова, где охватывает всю западную и юго-западную часть основания дамб хвостохранилища СевГОКа. Характеризуется значительной мощностью (50 м и более) песчано-глинистых отложений кайнозоя, залегающих в виде линзовато-слоистой толщи песков, глин и суглинков. По мощности песчано-глинистых отложений, перекрывающих граниты, в пределах района «В» выделены 2 участка: **В-4** с

мощностью  $H$  от 30 до 40м, и  $B-5$  с  $H$  от 40 до 60 м. Согласно усредненным данным приведенного геологического разреза района «В» можно

### СЕЙСМИЧЕСКОЕ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЕ

Учитывая пространственную неоднородность инженерно-геологических и сейсмических свойств грунтов района работ, сейсмическое микрорайонирование (СМР) территории размещения хвостохранилища и ограждающих сооружений Северного ГОКа проведено с большой детальностью по всей площади с применением комплекса методов, включавших: регистрацию специальных взрывов, высокочастотных микросейсм и сейсморазведочные наблюдения (метод сейсмических жесткостей) [23].

Метод регистрации взрывов относится к основным методам СМР [24]. Он основан на подоби волновых колебаний слабых землетрясений и взрывов и является наиболее корректным подходом к имитации ожидаемых сильных воздействий для территорий с низкой

сделать вывод об относительно равном соотношении грунтов II и III категории.

сейсмической активностью [25]. При проведении полевых наблюдений сейсмометры устанавливались в трех взаимно перпендикулярных направлениях: восток-запад ( $EW$ ), север-юг ( $NS$ ) и вертикальном ( $Z$ ). За время работы из трех карьеров: ближайших Первомайского и Анновского, а также удаленного карьера Центрального ГОК (рис.3) зарегистрировано 8 массовых промышленных взрывов (масса заряда от 104 до 727 тонн) в 25 пунктах наблюдений, охватывающих все выделенные участки с различными инженерно-геологическими условиями на исследуемой территории. На Первомайском карьере проводились взрывы мощностью от 535 до 727 тонн, на Анновском карьере – от 235 до 450 тонн, взрывы в карьере ЦГОК не превышали 250 тонн. Расположение пунктов взрывов (карьеров) показано на рис.3. Средние расстояния от карьеров до хвостохранилища составляют: Анновский – 6,5 км, Первомайский – 7,5 км, карьер ЦГОК – 26 км [1].

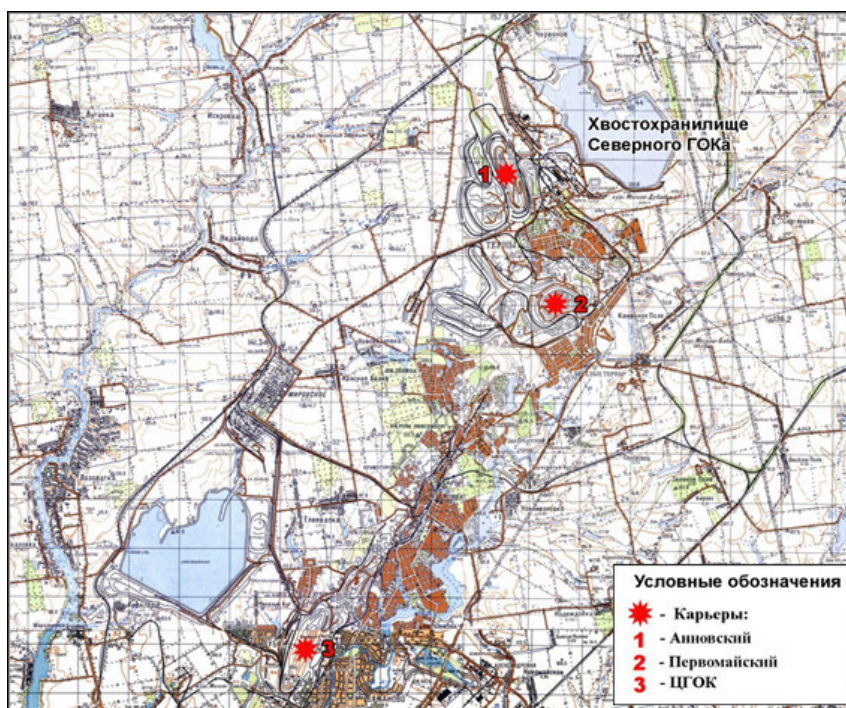


Рис. 3. Схема расположения хвостохранилища Северного ГОК и пунктов взрывов (карьеров).

**Методика обработки и интерпретации.**  
Анализ полученных материалов показал, что по

форме и продолжительности записи взрывов из различных карьеров заметно различаются между

собой. Для записей взрывов Анновского карьера характерна относительно небольшая продолжительность колебаний (до 15 сек.) с достаточно четкими вступлениями объемных и поверхностных волн (рис. 4 а).

Записи взрывов Первомайского карьера общей продолжительностью до 40 сек. состоят из нескольких разделенных между собой групп колебаний примерно одинаковой продолжительности и частотного состава (рис. 4 б). Отмеченная особенность записей, обусловленная, по-видимому, техническими условиями производства взрывов (количество и

время замедлений, масса одновременно взрываемой взрывчатки), позволяет рассматривать выделяемые на записи группы колебаний в качестве отдельных взрывов и использовать их для оценки приращений сейсмической интенсивности.

Волновая картина на записях взрывов в карьере ЦГОК в связи с большим эпицентральной расстоянием и значительными поглощением высокочастотных колебаний представлена квазигармоническими колебаниями интерференционного типа (рис.4 в).

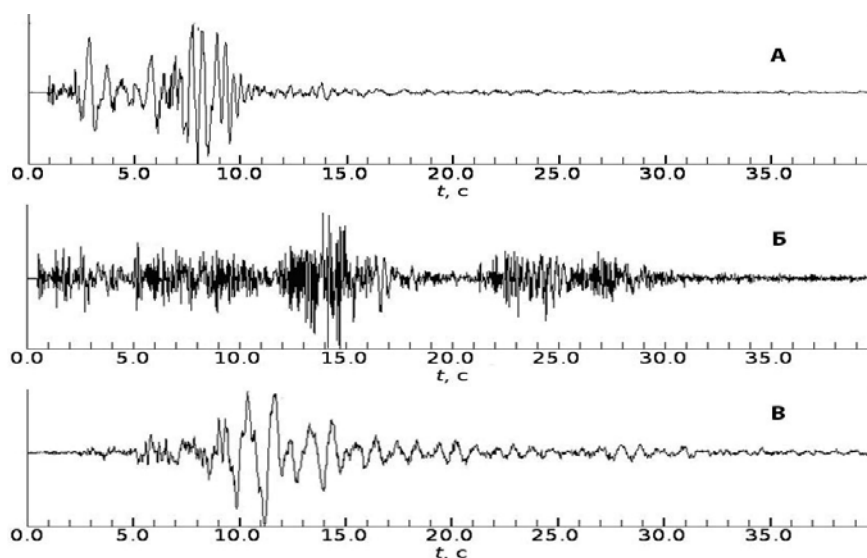


Рис. 4. Примеры записей взрывов (по составляющей N-S) на эталонном пункте: 16.09.2010 г., Анновский карьер (А); 09.09.2010 г., Первомайский карьер (Б); 24.09.2010 г., карьер ЦГОК (п. Глееватка) (В).

Предварительная интерпретация полевых материалов, заключающаяся в качественном сопоставлении записей взрывов с инженерно-геологическими условиями в пунктах наблюдений, показала, что основное влияние на интенсивность сейсмических колебаний при взрывах оказывает мощность рыхлых отложений. В пунктах регистрации с мощностью песчано-глинистых отложений  $H > 30$  м на записях отмечаются колебания резонансного типа с частотами, близкими к преобладающим для слоя данной мощности. На рис.5 приведены примеры характерных спектров записей взрывов в пунктах, расположенных на грунтах с различной мощностью песчано-глинистых отложений.

Приращение сейсмической интенсивности по методу взрывов оценено по отношению максимальных амплитуд записей с использованием формулы [24]:

$$\Delta I = 3.3 \lg (A_{i.max} / A_{эт.max}),$$

$\Delta I$  - приращение сейсмической интенсивности в баллах шкалы **MSK-64** на исследуемом пункте;

$A_{i.max}$  и  $A_{эт.max}$  – максимальные амплитуды колебаний для различных компонент на исследуемом и эталонном пунктах соответственно.

Согласно полученным расчетам диапазон изменений приращений сейсмической интенсивности для грунтовых условий исследуемой территории составляет  $\Delta I = 2,2$  балла (от -0,76 до +1,34 балла). При этом, как указывалось выше, основной причиной

изменения  $\Delta I$  является мощность песчано-глинистых отложений. Другие факторы, такие, как категория грунтов по сейсмическим свойствам и глубина залегания уровня грунтовых вод, существенного влияния на величину приращений сейсмической интенсивности в явном виде не оказали. Это подтверждается незначительными различиями в приращениях

сейсмической интенсивности для инженерно-геологических участков **Б-4** ( $\Delta I_{cp} = +0,78$  балла) и **В-4** ( $\Delta I_{cp} = +0,82$  балла), сложенных песчано-глинистыми грунтами одинаковой мощности, относящихся ко **II** и **II-III категориям** по сейсмическим свойствам, соответственно (таблица 2).

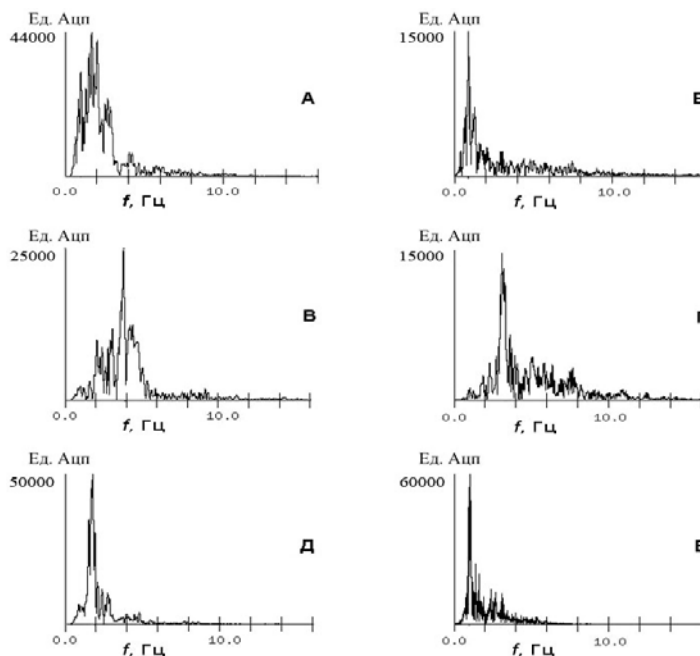


Рис. 5. Примеры спектров записей взрывов: А – взрыв № 2 (Анновский карьер), п/н № 1 (эталон); Б – взрыв № 8 (карьер ЦГОК), п/н № 1 (эталон); В – взрыв № 2 (Анновский карьер), п/н № 8, мощность рыхлых отложений  $H = 20$  м; Г – взрыв № 3 (Первомайский карьер), п/н № 13,  $H = 30$  м; Д – взрыв № 2 (Анновский карьер), п/н № 3,  $H = 40$  м; Е – взрыв № 6 (карьер ЦГОК), п/н № 6 (дамба). Номера взрывов и пунктов регистрации даны по работе [1].

**Метод микросейсм** является вспомогательным при проведении СМР [24]. Он основан на представлении о грунте, как о некотором «фильтре», выделяющем из микросейсмического поля колебания определенного частотного диапазона с амплитудным уровнем, зависящем от инженерно-геологических условий в пункте наблюдения.

В данной работе качестве эталонных приняты записи микросейсм в пункте, расположенном на грунтах **I** категории по сейсмическим свойствам, совмещенном с эталонным пунктом регистрации взрывов. Дополнительно для метода микросейсм использован также эталонный пункт, расположенный на грунтах **II** категории.

Использование для оценки  $\Delta I$  двух эталонных пунктов обусловлено необходимостью обеспечения стандартности наблюдений в условиях большой протяженности исследуемой территории и наличии в ее пределах значительного количества неравномерно распределенных источников техногенных помех.

Всего зарегистрировано и обработано 102 трехкомпонентные записи микросейсм, часть из них получена в пунктах, совмещенных с записью взрывов.

Общий анализ полученных данных показал, что основной вклад в формирование волновой картины вносят микроколебания техногенной природы в частотном диапазоне  $f = 2,0-7,0$  Гц (рис. 6).

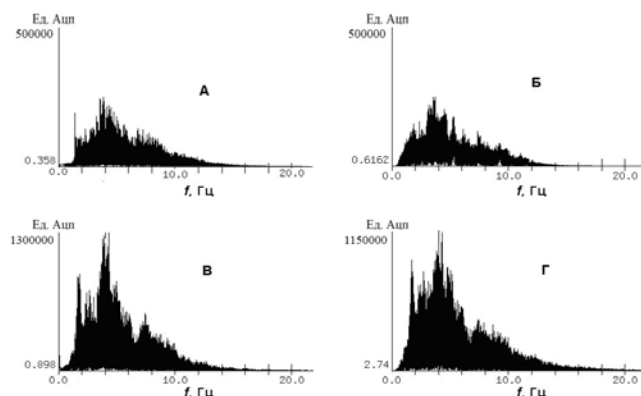


Рис.6. Спектры записей микросейсм 08.09.2010 г. в пункте № 8 в различное время суток.

Составляющая *E-W*: А –  $t = 01^{00}-03^{00}$ ; Б –  $t = 05^{00}-07^{00}$ ; В –  $t = 10^{00}-12^{00}$ ; Г –  $t = 15^{00}-17^{00}$

Результаты синхронных круглосуточных регистраций в различных инженерно-геологических условиях показали, что интенсивность микросейсм в дневное время ( $07^{00}-18^{00}$  час.) примерно в 2 раза превышает интенсивность микроколебаний в ночное время ( $20^{00}-06^{00}$  час.). При этом в случае отсутствия близких источников помех наблюдается довольно высокая стабильность амплитудного уровня микросейсм как в дневное, так и в ночное время. Частотный состав микросейсм в течение суток изменяется незначительно (рис. 6). Отмеченные особенности позволяют сделать вывод о близости микросейсмического процесса к стационарному в отдельных временных интервалах и использовать записи микросейсм для решения задач сейсмического микрорайонирования.

Приращения сейсмической интенсивности ( $\Delta I$ ) по методу микросейсм рассчитаны по рекомендуемой формуле [23]:

$$\Delta I = 2 \lg (A_{i,max} / A_{эт,max}), \text{ где}$$

$A_{i,max}$  и  $A_{эт,max}$  – осредненные по всем записям и трем составляющим максимальные амплитуды микроколебаний на исследуемом и эталонном пунктах наблюдений

Анализ расчетов показал, что для записей микросейсм, также как и для записей взрывов, наблюдается тенденция возрастания амплитудного уровня колебаний с увеличением мощности рыхлых отложений. При мощности песчано-глинистых отложений  $H \geq 30$  м приращение сейсмической интенсивности  $\Delta I$  составляет от +0.62 до +0.98, а для участков с мощностью рыхлых отложений до 10 м наблюдается уменьшение интенсивности в среднем на  $\Delta I = -0.60$  балла.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СМР

В пределах территории размещения ограждающих сооружений хвостохранилища Северного ГОК выделено несколько зон с различными сейсмическими свойствами грунтов, как усиливающими, так и ослабляющими исходные (нормативные) сейсмические воздействия (таблица 2). На сравнительно малой площади (около  $25 \text{ км}^2$ ) вариации приращения сейсмической интенсивности находятся в диапазоне от  $\Delta I = -0.67$ ; до  $\Delta I = +1.28$  балла относительно исходной сейсмичности. Соответственно, расчетные прогнозные сейсмические воздействия  $I_R$  в пределах территории хвостохранилища Северного ГОК на разных участках будут различаться на 2 балла.

В таблице 2 представлены вариации  $\Delta I$  полученные методом взрывов ( $\Delta I_{взр}$ ) и микросейсм ( $\Delta I_{микр}$ ) и их средние значения по двум методам ( $\Delta I_{сп}$ ), как по всей совокупности данных на квазиоднородных участках ( $\Delta I_{сп1}$ ), так и по данным совмещенных пунктов регистрации ( $\Delta I_{сп2}$ ). Средние значения по группе пунктов даны в пределах как одного метода, так и двух методов. В скобках указаны значение погрешностей. Осреднение проводилось по всем пунктам регистрации (n) на территории отдельных зон (А-В, дамба). Здесь же приведены окончательные расчетные значения прогнозных сейсмических воздействий  $I_R$  для ПЗ (T=500лет) и МРЗ (T=5000лет).

Таблица 2. Приращение сейсмической интенсивности по методу взрывов и микросейсм и уточненные  $I_R$  для инженерно-геологических условий территории хвостохранилища Северного ГОК

Зона, $H, м$	Все пункты					Совмещенные пункты				$\Delta I$	$I_R$ T=500	$I_R$ T=5000
	$\Delta I_{взр}$	n	$\Delta I_{микр}$	n	$\Delta I_{сп1}$	$\Delta I_{взр}$	$\Delta I_{микр}$	$\Delta I_{сп2}$	n			
А-1 $\leq 10$	-0.76 (0.07)	3	-0.63 (0.08)	3	<b>-0.69</b> (0.06)	-0.73 (0.08)	-0.57 (0.06)	<b>-0.65</b> (0.08)	2	-0.67	4.81	5.89
А-2, 10-20	+0.23 (0.03)	3	+0.16 (0.05)	7	<b>+0.20</b> (0.03)	+0.23	+0.34	<b>+0.28</b> (0.06)	1	+0.24	5.72	6.8
Б-3, 20-30	+0.42 (0.05)	10	+0.24 (0.05)	9	<b>+0.33</b> (0.09)	++0.37 (0.04)	+0.28 (0.04)	<b>+0.33</b> (0.05)	5	+0.33	5.81	6.89
Б-4, 30-40	+0.78 (0.14)	8	+0.62 (0.11)	23	<b>+0.70</b> (0.08)	+0.71 (0.07)	+0.69 (0.11)	<b>+0.70</b> (0.01)	4	+0.70	6.18	7.26
В-4, 30-40	+0.82 (0.11)	4	+0.67 (0.12)	17	<b>+0.75</b> (0.08)	+0.82 (0.11)	+0.58 (0.06)	<b>+0.70</b> (0.12)	2	+0.72	6.20	7.28
В-5, 40-50	+0.98 (0.15)	7	+0.97 (0.15)	22	<b>+0.98</b> (0.01)	+1.01 (0.13)	+0.94 (0.08)	<b>+0.98</b> (0.04)	4	+0.98	6.46	7.54
Дамба	+1.34 (0.05)	6	+1.16 (0.14)	18	<b>+1.25</b> (0.09)	+1.32 (0.05)	+1.30 (0.07)	<b>+1.31</b> (0.01)	4	+1.28	6.76	7.84

Из таблицы 2 видно, что уменьшение сейсмической интенсивности (отрицательные приращения) соответствуют только площадям развития рыхлых отложений мощностью до 10 м, подстилаемых кристаллическими породами Украинского щита (грунты I категории по сейсмическим свойствам в зоне А-1). Эта зона занимает небольшую, локализованную в пространстве территорию в восточной части исследуемого объекта (рис.2). Близкими к нулевым приращениям сейсмической интенсивности ( $\Delta I_{сп1} = +0.24 \div +0.33$ ) характеризуется территория с песчано-глинистыми отложениями кайнозоя мощностью  $H = 10-30$  м, залегающими на коренных докембрийских гранитах (зоны А-2, Б-3) в центральной части хвостохранилища. Для периферической части территории с песчано-глинистыми отложениями мощностью от 30 до 50 м (зоны Б-4, В-4 и В-5) ожидается заметное усиление сейсмических колебаний с приращением от  $\Delta I_{сп1} = +0.70$  до  $\Delta I_{сп1} = +0.98$  балла. Для ограждающих дамб хвостохранилища, сложенных в основном техногенными

отложениями, приращения сейсмической интенсивности получились наибольшие:  $\Delta I_{сп1} = +1.28$  балла относительно исходной сейсмичности.

Отдельно сравним  $\Delta I$ , полученные на совмещенных пунктах регистрации, для исключения ошибок за счет возможных пространственных особенностей внутри квазиоднородных зон. В большинстве случаев  $\Delta I_{сп2}$  на совмещенных пунктах либо полностью совпали с  $\Delta I_{сп1}$ , либо их значения находились в пределах разбросанных как внутри метода, так и между ними.

В целом получена тесная корреляционная связь между значениями  $\Delta I_{взр}$  по основному методу (взрывы) и вспомогательному  $\Delta I_{микр}$  (микросейсм) с высоким коэффициентом корреляции  $\rho$  [26]:

$$\Delta I_{микр} = (0.92 \pm 0.05) \Delta I_{взр} + (0.01 \pm 0.04), \rho=0.97$$

Из приведенной формулы видно, что при  $\Delta I_{взр} = 1$  приращение  $\Delta I$  по методу микросейсм

с учетом погрешностей может находиться в пределах  $\Delta I_{\text{микр}} = 0.86 \div 1.01$  (при максимальном разбросе ошибок в обе стороны). Отсюда следует, что оба метода являются равноточными и равнозначными.

Зависимость средних значений приращения сейсмических интенсивностей  $\Delta I$  от мощности слоя песчано-глинистых отложений  $H$  для всей рассмотренной территории Северного ГОК представлена в виде уравнения прямой [26]:

$$\Delta I = (0.041 \pm 0.004)H - (0.78 \pm 0.14), \quad \rho = 0.97$$

Влияние факторов «категория грунтов по сейсмическим свойствам» и «глубина залегания уровня грунтовых вод» на интенсивность микроколебаний менее выражено и по результатам работ на данной территории прямой корреляционной связи не установлено.

## ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования современного состояния сейсмических свойств грунтов и сейсмической опасности на территории размещения основных ограждающих сооружений хвостового хозяйства и оборотного водоснабжения экологически опасного хвостохранилища Северного горно-обогатительного комбината установлено следующее:

1. Сейсмическая опасность изученной территории определяется сильными подкоровыми землетрясениями очаговой зоны Вранча, расположенной в зоне сочленения Восточных и Южных Карпат с Предкарпатским прогибом, а также «местными» землетрясениями, происходящими в непосредственной близости от исследуемой территории и связанными с тектоническими нарушениями Украинского щита.

2. Уточненные нормативные (исходные) значения сейсмических воздействий для средних грунтовых условий района Северного ГОК составляют:  $I_0 = 5.48$  балла для проектного землетрясения (ПЗ) один раз в 500 лет с вероятностью превышения указанной величины в течение 50 лет  $P = 10\%$ ; для максимально расчетного землетрясения (МРЗ) с периодом повторяемости  $T = 5000$  лет исходная сейсмичность составит  $I_0 = 6.56$  балла при минимальной вероятности превышения  $P = 1\%$ ;

3. Инструментальными методами сейсмического микрорайонирования на

исследованной территории хвостохранилища получен широкий диапазон вариаций приращения сейсмической интенсивности от  $\Delta I = -0.67$  до  $+1.28$  балла за счет пространственной неоднородности современных локальных инженерно-геологических условий грунтов, вызванной многолетней эксплуатацией хвостохранилища.

4. К неблагоприятным в сейсмическом отношении факторам, распространенным на изученной территории, дополнительно относятся: плоскостная и глубинная водная эрозия, оползни, просадочность лессовидных грунтов.

5. Уточненные прогнозные значения расчетной сейсмичности для существующих в настоящее время природных и инженерно-геологических свойств грунтов на сравнительно не большой по площади территории хвостохранилища различаются между собой до 2 баллов и для отдельных участков составляют:

- Для локализованной зоны А-1 проектное землетрясение (ПЗ) –  $I_R = 4.81$  балла (округленно 5 баллов); максимальное расчетное землетрясение (МРЗ) –  $I_R = 5.89$  (6 баллов).

- Для зон А-2, Б-3 в центральной части хвостохранилища (ПЗ) –  $I_R = 5.72 \div 5.81$  балла (6 баллов), МРЗ –  $I_R = 6.8 \div 6.89$  (7 баллов).

- Для периферической части территории (зоны Б-4, В-4) с песчано-глинистыми отложениями мощностью от 30 до 50 м ПЗ –  $I_R = 6.18 \div 6.47$  (6 баллов), МРЗ –  $I_R = 7.26 \div 7.54$  балла (7 ÷ 8 баллов).

- Наибольшим прогнозным сейсмическим воздействием может быть подвержена ограждающая дамба, для которой проектное землетрясение ПЗ –  $I_R = 6.76$  (7 баллов), МРЗ –  $I_R = 7.84$  балла (8 баллов).

6. Сравнительный анализ двух методов: основного (взрывы) и вспомогательного (микросейсмы) по большому объему экспериментальных данных показал хорошую сходимость результатов по оценке  $\Delta I$ . Оба метода можно отнести к равноточным и равноправным при проведении работ по СМР. В связи с этим, метод микросейсм можно также принять в качестве основного для широкого использования в практических задачах инженерной сейсмологии, в том числе при изысканиях на площадках строительства ответственных и экологически опасных объектов, где метод взрывов по разным причинам может быть недоступен.

7. Полученные количественные значения  $\Delta I$  на исследуемой территории

хвостохранилища Северного ГОКа показали, что метод инженерно-геологических аналогий по категории грунтов не отражает реальную картину пространственных вариаций сейсмической интенсивности, связанную с резким изменением инженерно-геологической и гидрологической обстановки. Его применение [11, табл. 5.1] допустимо лишь на стадии инженерных изысканий для проектирования подобных объектов. Во избежание ошибок в оценках расчетной сейсмической опасности и, соответственно, в расчетах сейсмических нагрузок на здания и сооружения использование только метода аналогий по табл.5.1 [11] возможно лишь в комплексе с инструментальными методами.

Результаты выполненных исследований являются основой для расчета сейсмических нагрузок с целью обеспечения современной сейсмоустойчивости ограждающих сооружений хвостохранилища и установления предельного срока их эксплуатации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скляр А.М. Сейсмическое микрорайонирование территории расположения ограждающих сооружений хвостового хозяйства и оборотного водоснабжения ОАО «СевГОК» / Скляр А.М., Князева В.С., Селезнева О.А., Останин А.М., Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Пустовитенко А.А. (Отчет по теме)- Фонды ИГФ НАНУ, Симферополь – Киев, 2010, –75 с
2. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Пустовитенко А.А. Новые карты общего сейсмического районирования территории Украины. Особенности модели долговременной сейсмической опасности // Геофизический журнал, №3, т.28, 2006. – С.54–77.
3. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР.- М.: Наука, 1977. – С. 536
4. Алказ В.Г. Основы прогноза сейсмической опасности и сейсмического риска территории республики Молдова – Ch: Elena – VI SRL. – 2007. – 229 с.
5. Москаленко Т.П. Карты изосейст землетрясений Карпатского региона // Карпатское землетрясение 4 марта 1977 г и его последствия. – М.: Наука, 1980. – С.86–105.
6. Никонов А.А. Сильнейшее в Восточной Европе Карпатское землетрясение 26 октября 1802г-новые материалы и оценки// Доклады АН, 1996, том 347, №1. – С. 99–102.
7. Пустовитенко А.А. Сейсмологические основы прогноза сейсмической опасности территории юга Украины // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. – Киев, – 2008. – 21 с.
8. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Пустовитенко А.А., Скляр А.М. Инструментальные и макросейсмические данные о процессах в очаговой зоне Криворожского землетрясения 25 декабря 2007 г. - // Геофизический журнал. - № 2, 2010, том 32. – С. 75–97.
9. Пустовитенко Б.Г., Бондарь М.Н., Князева В.С., А.М.Скляр, Эреджепов Э.Э. Криворожское- II землетрясение 14 января 2011 г.  $M_S=3.6$ ,  $M_w=3.6$ ,  $I_0=5$  (Украина, Днепропетровская область) //Землетрясения Северной Евразии в 2011 г.– Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН. –2017.– С. 305-313
10. Скляр А.М., Князева В.С., Скляр А.А., Останин А.М. Макросейсмический эффект Криворожского землетрясения 23 июня 2013 г. // Сейсмологический бюллетень Украины за 2013 год.– Севастополь: НПП «Экоси-Гидрофизика», – 2014. – С.48–53.
11. Будівництво в сейсмічних районах України. ДБН України В.1.1.12-2014./ научн. Руководитель Ю.И.Немчинов/ – Київ: Мінбуд України, 2014, VI –110с.
12. Карта глубинного геологического строения Украинской ССР и Молдавской ССР, м-б 1:1000000. /Галецкий Л.С., Чекунов А.В. – Киев: ЦТЭ, 1984. – 4 листа.
13. Карта гипсометрии подошвы плитных комплексов юго-запада СССР (с использованием материалов космической съемки) м-ба 1:1000000. /Под ред. Н.А.Крылова. – Киев: ЦТЭ, 1988. – 4 листа.
14. Карта разрывных нарушений и основных зон линияментов юго-запада СССР с использованием материалов космической съемки. Масштаб 1:1000000. /Ред. Н.А.Крылов. - М.: ГУГиК, 1988. – 4 листа.
15. Карта неотектоники юго-запада СССР. М-ба 1:1000000 /Ред. А.М. Маринич. – М.: Мингео СССР. 1987. – 4 л.
16. Гинтов О.Б. Зоны разломов Украинского щита. Влияние процессов разломообразования на формирование структуры земной коры. //Геофизический журнал. – 2004. – 26, № 3. - с. 3-24.
17. Старостенко В.И., Пашкевич И.К., Кутас Р.И. Глубинное строение Украинского щита // Геофизический журнал. – 2002. – № 6. – С. 36–48.

18. Скляр А.М. Сейсмическое микрорайонирование по площадкам новых хвостохранилищ НКГОКа и ЮГОКа, «III карта» и «II карта», стадия ТЭО» / Скляр А.М., Королев В.А., Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Князева В.С., Останин А.М., Сафронов О.Н., Пивень Н.П., Иванченко Е.П., Дейнеко С.И. (Отчет по теме № 8/01). – Фонды ИГФ НАНУ, Симферополь – Киев, 2002. – 72с

19. Уломов В.И. Сейсмогеодинамика и сейсмическое районирование Северной Евразии // Вестник ОГГН РАН. – №1, 1999. – С. 1–32.

20. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Скляр А.М. К вопросу об использовании нецелочисленных значений интенсивности при оценке сейсмической опасности территорий // Тезисы V Российской национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию, г. Сочи, –2003, – С.22.

21. Нестеренко Г.Ф. Сейсмическое микрорайонирование площадки хвостового хозяйства / Нестеренко Г.Ф., Горюн Н.Н., Бучинская В.И., Чередниченко Л.Н.(отчет по теме). – Фонды Государственного предприятия «Киевский институт инженерных изысканий и исследований – «ЭНЕРГОПРОЕКТ» – Киев – 2010. – 10с.

22. Єнтін В.А. Геофізична основа тектонічної карти України масштабу 1:100000. – // Геофіз. журн. – 2005. – 27, № 1. – С. 74-84.

23. Методическиерекомендации по составу и методике оценки сейсмических и геодинамических условий действующих энергетических объектов с использованием геоинформационных технологий. – Москва – 1998. – 117с.

24. Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию при инженерных изысканиях для строительства. /Под ред. С.А.Федорова. – М:Госстрой СССР, 1985. – 136с.

25. Меметова Н.С., Пустовитенко Б.Г. Особенности динамических характеристик сейсмических волн промышленных взрывов. // Сейсмологический бюллетень западной зоны системы сейсмических наблюдений Украины и Молдовы за 1990 год. – Киев: Наукова думка, 1994. – С.180-187.

26. Скляр А.М., Пустовитенко Б.Г., Скляр А.А., Кязева В.С., Останин А.М. Пространственные вариации сейсмической интенсивности в сложных инженерно-геологических условиях // Будівельні конструкції Міжвідомчий науково-технічний збірник

наукових прац (будівництво), Вип.83, том 2 – Київ: ДП НДІБК, 2016 – С. 462-470.

## REFERENCES

1. Sklyar A.M. Seismic microdistricting of the location of the tailings and circulating water supply facilities of JSC SevGOK / Sklyar AM, Knyazeva VS, Selezneva OA, Ostanin AM, Pustovitenko BG, Kulchitsky V.E. , Pustovitenko AA (Report on the topic) - Funds IGF NASU, Simferopol - Kiev, 2010, - 75.c

2. Pustovitenko BG, Kulchitsky VE, Pustovitenko AA New maps of the general seismic zoning of the territory of Ukraine. Features of the model of long-term seismic hazard // Geophysical Journal, №3, t.28, 2006. - P.54-77.

3. A new catalog of strong earthquakes on the territory of the USSR. - Moscow: Nauka, 1977. - P. 536.

4. Alkaz V.G. The basis for forecasting seismic hazard and seismic risk of the territory of the Republic of Moldova - Ch: Elena - VI SRL. - 2007. - 229 p.

5. Moskalenko, TP Maps of isoseism of earthquakes in the Carpathian region // Carpathian earthquake on March 4, 1977 and its consequences. - Moscow: Nauka, 1980. - P.86-105.

6. Nikonov AA The strongest in Eastern Europe, the Carpathian earthquake on October 26, 1802-new materials and assessments // Reports AN, 1996, Vol. 347, No. 1. - P. 99-102.

7. Pustovitenko A.A. Seismological foundations of the forecast of seismic hazard of the territory of the south of Ukraine // Abstract of the thesis for obtaining the scientific degree of Candidate of Physical and Mathematical Sciences. - Kiev, - 2008. - 21 with.

8. Pustovitenko BG, Kulchitsky V.E., Pustovitenko AA, Sklyar A.M. Instrumental and macroseismic data on processes in the focal zone of the Krivoy Rog earthquake December 25, 2007 - // Geophysical Journal. - № 2, 2010, volume 32. - P. 75-97.

9. Pustovitenko BG, Bondar MN, Knyazeva VS, A.M. Sklyar, Eredzhepov E.E. Kryvyi Rih-II earthquake January 14, 2011 MS = 3.6, Mw = 3.6, IO = 5 (Ukraine, Dnepropetrovsk region) // Earthquakes of Northern Eurasia in 2011- Obninsk: FIC ECS RAS. -2017.- P. 305-313

10. Sklyar AM, Knyazeva VS, Sklyar AA, Ostanin A.M. Macroseismic effect of the Krivoy Rog earthquake on June 23, 2013 // Seismological Bulletin of Ukraine for 2013.- Sevastopol: Ecological Hydrophysics NPC, -2014. - P.48-53.

11. Budivnitsvo in the seismic regions of Ukraine. ДБН України В.1.1.12-2014. / Научн. Director Yu.I. Nemchinov / - Kiev: Minbud of Ukraine, 2014, VI -110s.
12. Map of the deep geological structure of the Ukrainian SSR and the Moldavian SSR, mb 1: 1000000. / Galetskiy LS, Chekunov AV - Kiev: TEC, 1984. - 4 sheets.
13. Map of the hypsometry of the sole of the plate complexes of the south-west of the USSR (using space-based survey materials) mba 1: 1,000,000. Ed. N.A. Krylov. - Kiev: TEC, 1988. - 4 sheets.
14. Map of rupture violations and the main zones of liniment in the southwest of the USSR using space survey materials. Scale 1: 1,000,000. / Ed. NA Krylov. - Moscow: GUGiK, 1988. - 4 sheets.
15. Map of neotectonics in the south-west of the USSR. M-ba 1: 1000000 / Ed. A.M. Marynich. - M: Mingeo USSR. 1987. - 4 liters.
16. Gintov, O.B. Zones of faults of the Ukrainian shield. Influence of the processes of fault formation on the formation of the structure of the earth's crust. // Geophysical Journal. - 2004. - 26, No. 3. - p. 3-24.
17. Starostenko VI, Pashkevich IK, Kutas RI The deep structure of the Ukrainian Shield // Geophysical Journal. - 2002. - No. 6. - P. 36-48.
18. Sklyar A.M. Seismic microzoning on the sites of new tailing dumps of NKGOK and YUGOK, "III map" and "II map", stage of feasibility study "/ Sklyar AM, Korolev VA, Pustovitenko BG, Kulchitsky VE, Knyazeva V .S., Ostanin AM, Safronov ON, Piven. N. P., Ivanchenko EP, Deineko S.I. (Report on the topic No. 8/01) .- Funds IGF NASU, Simferopol - Kiev, 2002. -72c
19. Ulomov V.I. Seismogeodynamics and seismic zoning of Northern Eurasia // Vestnik OGGN RAN. - № 1, 1999. - P. 1-32.
20. Pustovitenko BG, Kulchitsky V.E., Sklyar A.M. On the use of non-integer intensity values in assessing the seismic hazard of the territories // Abstracts V of the Russian National Conference on Earthquake-Resistant Construction and Seismic Zoning, Sochi, -2003, - P.22.
21. Nesterenko G.F. Seismic microdistricting of the tailing site / Nesterenko GF, Gorjun NN, Buchinskaya VI, Cherednichenko LN (report on the topic) .- Funds of the State Enterprise "Kiev Institute of Engineering Survey and Research -" ENERGOPROEKT " - Kiev - 2010. - 10s.
22. Єнтін В.А. The geoficific basis of the tectonic picture of Ukraine is 1: 100000 scale. - // Geofiz. journal. - 2005. - 27, No. 1. - P. 74-84
23. Methodological recommendations on the composition and methodology of seismic and geodynamic conditions of existing energy facilities using geoinformation technologies. - Moscow - 1998. - 117s.
24. Recommendations on seismic micro-zoning at engineering surveys for construction. Ed. S.A.Fedorova. - M: Gosstroy USSR, 1985. - 136s.
25. Memetova NS, Pustovitenko BG Features of dynamic characteristics of seismic waves of industrial explosions. // Seismological Bulletin of the Western Zone of the System of Seismic Observations of Ukraine and Moldova for 1990. - Kiev: Naukova Dumka, 1994. - P.180-187.
26. Sklyar AM, Pustovitenko BG, Sklyar AA, Kiazeva VS, Ostanin A.M. Spatial variations of seismic intensity in complex engineering-geological conditions // Budivelnye konstruksii: Mizhvidomchii naukovo-tehnichny zbimik naukoviches prac (budivnitsutvo), Vip.83, vol. 2 - Kiev: DP NDIBK, 2016 - C. 462-470.

SEISMIC PROPERTIES OF SOILS AND SEISMIC HAZARD ASSESSMENT ON TERRITORY OF A  
MAJOR TAILINGS MINING AND PROCESSING PLANTS

Pustovitenko B.G, Sklyar A.A, Ostanin A.M

**SUMMARY** A detailed study of the current state of seismic properties of soils and seismic hazard in the territory of the tailings storage facility of the Northern mining and processing plant in the area of Krivoy ROG. The spatial heterogeneity of changed engineering-geological and seismic properties of soils on the territory of the tailings storage facility is established. The specified forecast values of the calculated IR seismicity for individual sites were different to 2 points: from 5 to 7 points for the projected earthquake (PE) and from 6 to 8 points for the maximum calculated earthquake (MCE).

**Key words:** tailing dump, seismicity, explosions, microseisms, seismic microzoning, engineering-geological conditions.

# РУКОВОДСТВО ДЛЯ АВТОРОВ

## 1. Прием статей в редакцию и состав сопроводительных документов

Прием статей для публикации в журнале осуществляется в постоянном режиме. Процесс рассмотрения статьи, рецензирования и редакционно-издательской обработки занимает достаточно длительное время, в связи с чем поступившая и допущенная редколлегией к публикации статья будет, как правило, опубликована не ранее, чем через 4 месяца со дня ее поступления. Датой поступления статьи будет считаться дата ее получения от автора в окончательном варианте после всех доработок и исправлений по замечаниям рецензентов и редактора.

Просим авторов тщательно готовить свои материалы с целью сокращения сроков их рассмотрения и обработки.

*Неправильно оформленные материалы не рассматриваются, не рецензируются и не возвращаются!* Также не возвращаются авторам рукописи статей и электронные копии на локальных носителях. При этом редакция по собственной инициативе в переговоры с авторами не вступает.

### 1.1. Прием статей на рассмотрение и рецензирование осуществляется через онлайн систему приема статей и по электронному адресу [stepancova.natal@mail.ru](mailto:stepancova.natal@mail.ru).

Прием статей на рассмотрение и рецензирование через онлайн систему приема статей производится на сайте журнала по адресу: <https://stroyjournal-asa.ru>. Инструкция по использованию системы доступна на сайте. Автор имеет возможность следить за продвижением статьи в редакции в личном кабинете и получает соответствующие уведомления по электронной почте.

Также прием статей на рассмотрение и рецензирование можно направить по электронной почте по адресу [stepancova.natal@mail.ru](mailto:stepancova.natal@mail.ru). Все вопросы и пожелания необходимо отправлять на этот адрес электронной почты редакции. (смотреть пункт 1.3).

Все поступившие в редакцию статьи проходят обязательное двойное слепое рецензирование. По результатам рецензирования автору сообщается решение о публикации, замечания рецензента и редактора или решение об отклонении статьи.

**1.2. Прием к публикации окончательного варианта статьи.** Окончательный (после внесения правки по замечаниям рецензентов и редактора) вариант статьи автор также загружает через систему или направляет на электронный адрес [stepancova.natal@mail.ru](mailto:stepancova.natal@mail.ru) для ее редактирования, корректуры, верстки и публикации в журнале.

**1.3. Прием пакета сопроводительных документов** осуществляется через онлайн систему приема статей и по электронному адресу [lisa.858@yandex.ru](mailto:lisa.858@yandex.ru).

Автор, пройдя регистрацию в системе, загружает статью в формате .doc или .docx, форматированную по шаблону (см. п. 2), вместе с файлами отсканированных документов: экспертного заключения о возможности опубликования в открытой печати (далее – экспертного заключения) и информации об авторах статьи. Экспертное заключение оформляется по требованиям, установленным в организации – работодателе автора. Редакция исходит из того, что авторы добровольно предоставляют сведения о себе в анкете автора в требуемом объеме и составе (в соответствии с правилами для публикаций научных статей в журналах, включенных в Перечень ВАК) для их открытого опубликования. Также к загружаемой статье может быть приложен файл отсканированной внешней (т.е. из сторонней организации) рецензии (1 экз.), оформленной и заверенной в организации по месту работы рецензента. Оригинал рецензии присылать в редакцию по почте не требуется. Сопроводительные документы можно направить по электронной почте по адресу [lisa.858@yandex.ru](mailto:lisa.858@yandex.ru). Все вопросы и пожелания относительно пакета документов необходимо отправлять на этот адрес электронной почты редакции.

Пакет оригиналов сопроводительных документов, включающий информационную карту статьи на публикацию сведений об авторе и экспертное заключение, должен поступить в редакцию по почте не

позднее 3 недель со дня уведомления автора (письмом на адрес электронной почты) о положительном решении по поводу публикации статьи.

#### **Бланки сопроводительных документов и требования:**

Информация об авторах статьи загружается в систему OJS или отправляется на адрес электронной почты [stercanova.natal@mail.ru](mailto:stercanova.natal@mail.ru) в электронном виде в виде файла с расширением .doc или .docx;

Бланк экспертного заключения и авторской справки (только для авторов – работников КФУ им. В.И. Вернадского (распечатывается и заполняется вручную)

Лицензионный договор о предоставлении права использования статьи

Бланк экспертного заключения и Внешняя рецензия – загружается в систему OJS или отправляется на адрес электронной почты [lisa.858@yandex.ru](mailto:lisa.858@yandex.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 озаглавляются словом Рис.1 (шрифт – обычный TNR 9 пунктов) со следующим за ним номером с точкой. Рисунки выполняются в графических редакторах, совместимых с Word и размещаются по тексту. Подрисунком 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**

#### **Некоторые общие положения.**

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.